



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

INGENIERÍA EN SOFTWARE

TEMA:

“DESARROLLO DE UN SISTEMA SOFTWARE DE CONTROL PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL FLUIDO DE NUTRIENTES EN UN CULTIVO HIDROPÓNICO”

AUTORES:

**LÓPEZ HIDALGO, CHRYSTIAN ANDRÉS
SALAZAR HURTADO, JHONATAN STALIN**

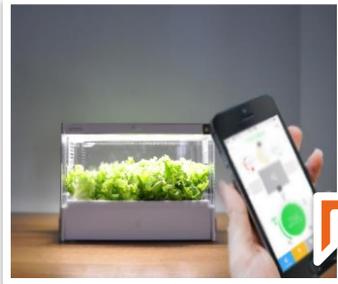
DIRECTOR:

ING. CARRILLO MEDINA, JOSE LUIS

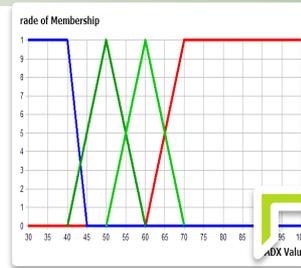
LATACUNGA, 2019



Resumen



Sistema software de control, para la optimización del fluido de nutrientes en un cultivo hidropónico



Sistema difuso



Metodología RUP



Balace de la solución nutritiva dentro de un cultivo de fresa



Antecedentes



La agricultura representa la base para garantizar el derecho humano a una alimentación sana y adecuada, en la actualidad existe una creciente demanda de productos agrícolas

La Organización Mundial de la Salud (OMS) ha explicado que el consumo de frutas es un factor determinante para que cada individuo se mantenga saludable.

En el Ecuador la agricultura representa un papel crucial en la economía del país, durante años se caracterizó por ser exportador de cacao, banano, fresa, flores, café, papa, entre otros a nivel mundial

Por las cambiantes condiciones climáticas y la demanda por productos, surge la tendencia a la búsqueda de nuevas tecnologías de cultivos, dentro de esta tendencia se tienen los cultivos hidropónicos como fuente de producción y alimentación en nuestro país.

La técnica hidroponía representa el cultivo de plantas sin tierra, siendo un sistema eficiente y sostenible para el cuidado de las plantas, optimizando el agua, los nutrientes y el espacio

La empresa "Asis - Agro" ubicada en el cantón Salcedo, desde el 2002, inició con una propuesta técnica de vanguardia, para mejorar la calidad de vida de los agricultores a través de un adecuado manejo de sus cultivos



ASIS-Agro

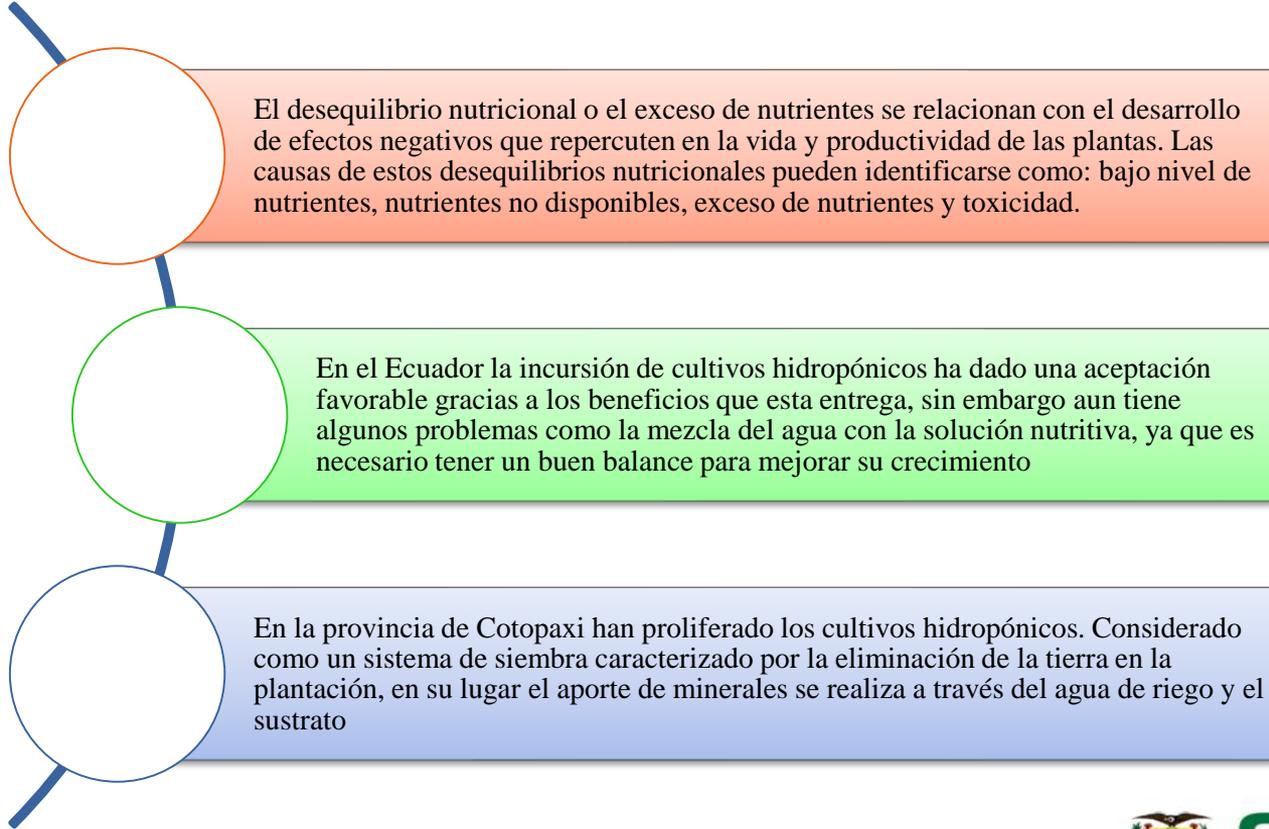
*Asistencia Tecnológica para el agro
Salcedo - Ecuador*

Dirección: Sucre s/n y Vicente Maldonado Teléfono: (03) 2728-530 094466972



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Planteamiento del problema



Planteamiento del problema

Los problemas que conlleva a los agricultores de “Asis-Agro” a utilizar el cultivo hidropónico

Es la pérdida de nutrientes de la tierra, la presencia de plagas (mosquito), nematos, hongos, que manualmente es más difícil su eliminación

La baja producción de la fresa y su elevado costo de producción, otro elemento importante es la presencia de enfermedades

El balance nutricional del cultivo de fresa dentro de la empresa “Asis-Agro”, se maneja de forma tradicional, lo que conlleva a la falta o exceso de nutrientes dentro del cultivo

A pesar de los avances en la empresa carece de algún sistema de control que gestione información referente a las variables que afectan el equilibrio nutricional del cultivo.

En base a los referentes planteados la interrogante a resolver en esta investigación es:

¿De qué manera mejorar el control de fluido de nutrientes de los cultivos hidropónicos de fresa en la empresa “Asis-Agro” con la implementación de un sistema software de control?



Objetivos



General:

- Desarrollar un sistema software de control para la optimización del fluido de nutrientes en un cultivo hidropónico.

Específicos:

- Fundamentar el marco teórico.
- Determinar los requerimientos para el sistema de control
- Desarrollar un sistema de control mediante lógica difusa
- Aplicar la propuesta en la empresa agrícola “Asis-Agro” cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi
- Validar el funcionamiento del sistema software de control



Marco Teórico: Cultivos Hidropónicos

La palabra hidroponía deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua.

Puede atender necesidades alimenticias sin pensar en grandes extensiones de cultivos pudiéndose implementar en casas, jardines, azoteas, ya sean hortalizas, flores y hasta pequeños arbustos o frutillas

Las frutas y verduras hidropónicas tienen más antioxidantes, poca cantidad de calorías, componentes diuréticos y propiedades curativas que los vegetales cultivados de forma tradicional, ya que los cultivos hidropónicos se manipulan con mayor limpieza e higiene desde la siembra hasta la cosecha

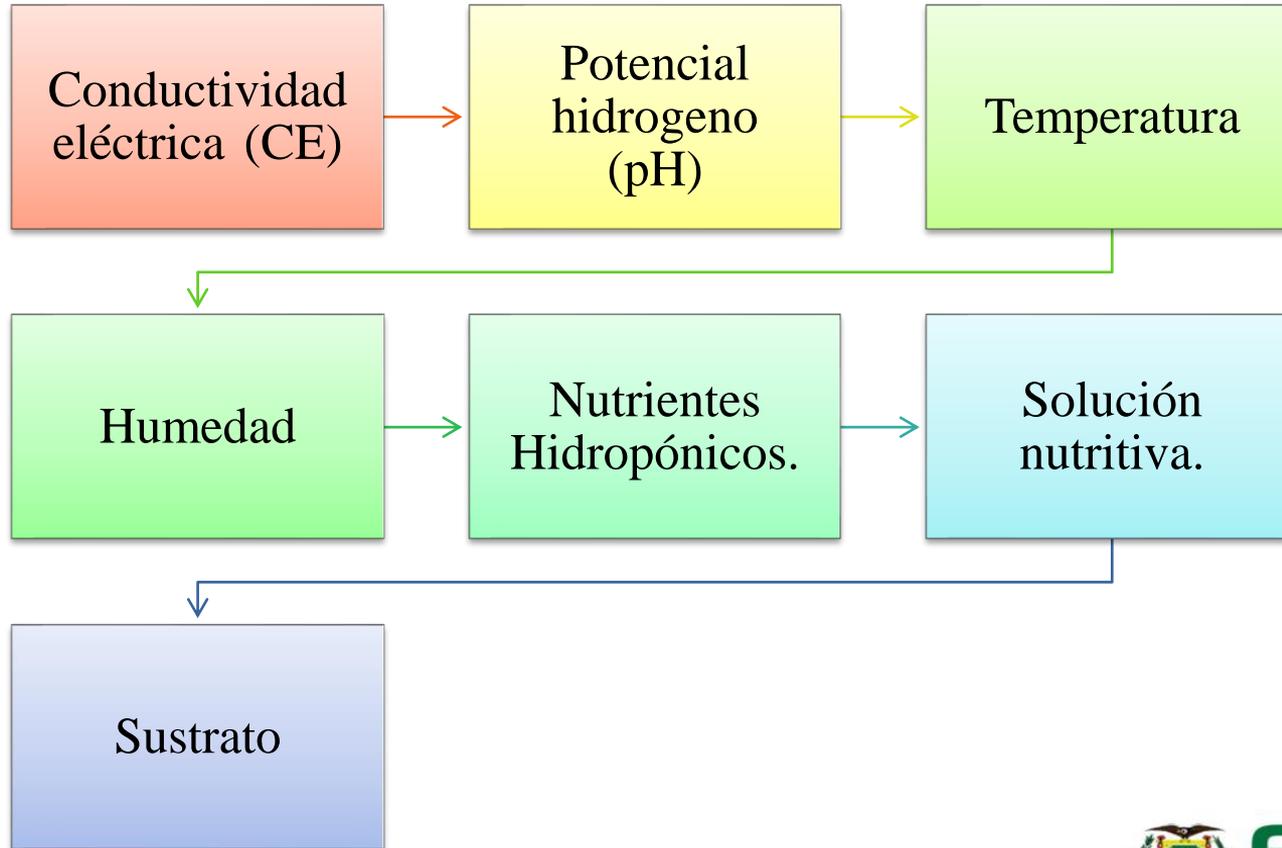
En un estudio realizado por la Plant Research Technologic (Investigación Tecnológica de Plantas) se encontró que las personas que consumen alimentos hidropónicos aumentan la cantidad de vitaminas y minerales en un 50% como las vitaminas A, C, E, B1, B2 y B3



Marco Teórico: Cultivos Hidropónicos – Ventajas

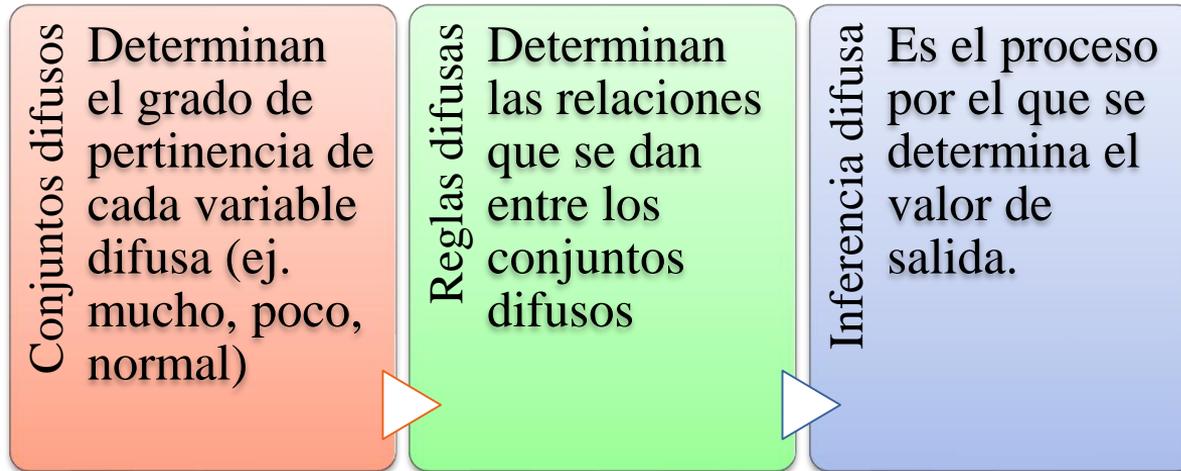


Marco Teórico: *Factores que influyen en los cultivos hidropónicos*



Marco Teórico: *Lógica difusa*

- Proporciona una manera simple de obtener una conclusión a partir de información de entrada vaga, ambigua, imprecisa, con ruido o incompleta.
- Básicamente, cualquier problema del mundo puede resolverse como, dado un conjunto de variables de entrada (espacio de entrada), obtener un valor adecuado de variables de salida (espacio de salida).



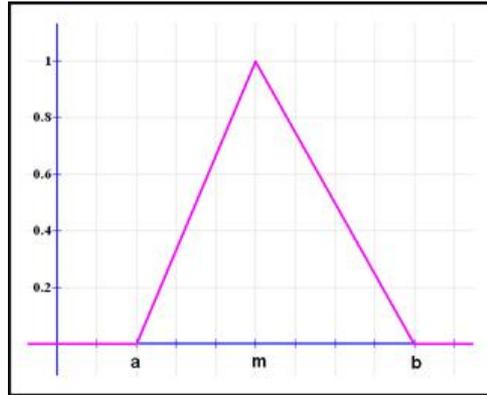
A partir del concepto principal de lógica difusa se determinan los elementos necesarios para formar un sistema difuso, los cuales son:



Marco Teórico: Representación de conjuntos difusos

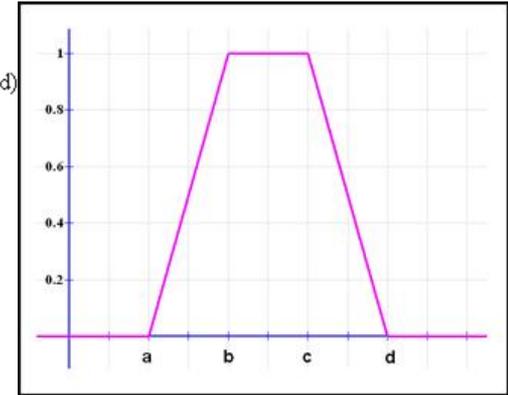
Función triangular: viene definida por un límite inferior **a**, un límite superior **b**, y un valor **m** tal que **a < m < b**.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a}, & \text{si } a < x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m}, & \text{si } m < x < b \\ 0, & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



Función trapezoidal: viene definida por un límite inferior **a**, un límite superior **d**, un límite de soporte inferior **b**, y un límite de soporte superior **c**, tal que **a < b < c < d**.

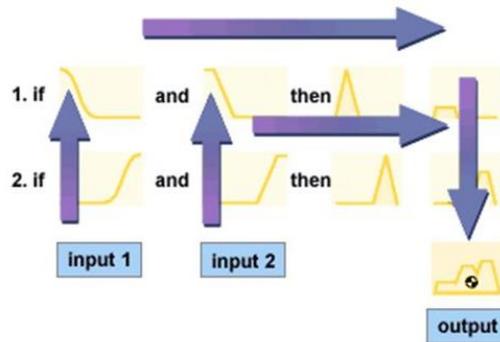
$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0, & \text{si } (x < a) \text{ ó } (x > d) \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{si } a \leq x \leq b \\ 1, & \text{si } b \leq x \leq c \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{si } c \leq x \leq d \end{cases}$$



Marco Teórico: Reglas difusas

- Las reglas difusas combinan uno o más conjuntos difusos de entrada llamados antecedentes o premisas, se les asocian un conjunto difuso de salida, llamado consecuente o consecuencia.
- Los antecedentes se asocian por conjuntivas lógicas “y”, “o”. Un ejemplo de tipo IF-THEN sería “Si error es positivo_pequeño y derivada_de_error es negativo_pequeño Entonces acción es positiva_pequeña”.

REGLAS DIFUSAS IF-THEN



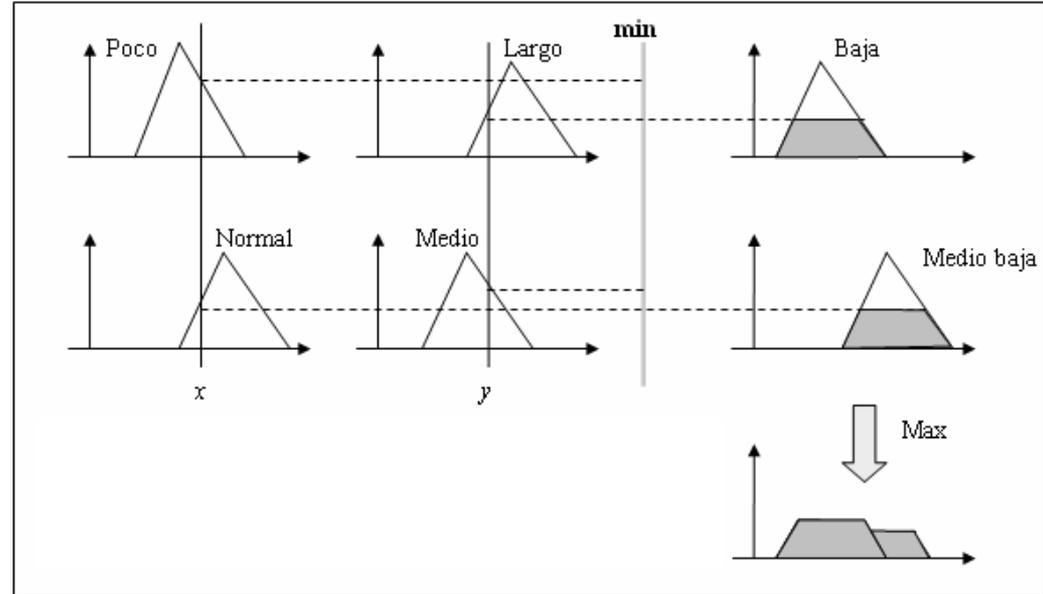
Marco Teórico: Inferencia Difusa

Proceso de obtener un valor de salida para un valor de entrada empleando la teoría de conjuntos difusos.

Inferencia de Mamdani

Toma como entrada los valores de la fuzzificación y se aplican a los antecedentes de las reglas difusas. Si una regla tiene múltiples antecedentes, se utiliza el operador AND u OR para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación. Este número (el valor de verdad) se aplica al consecuente

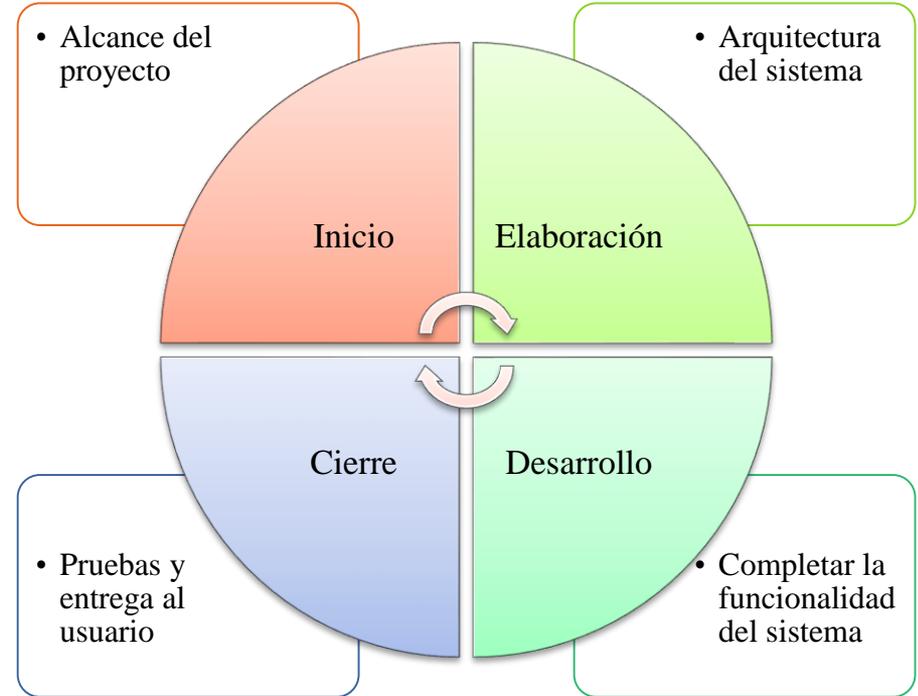
Estructura básica de inferencia de Mamdani



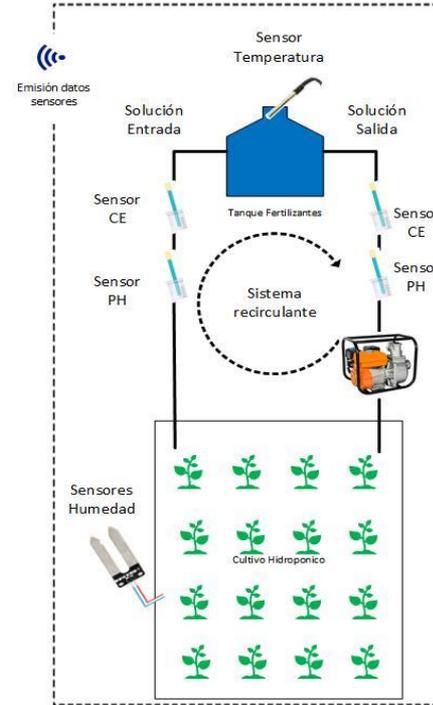
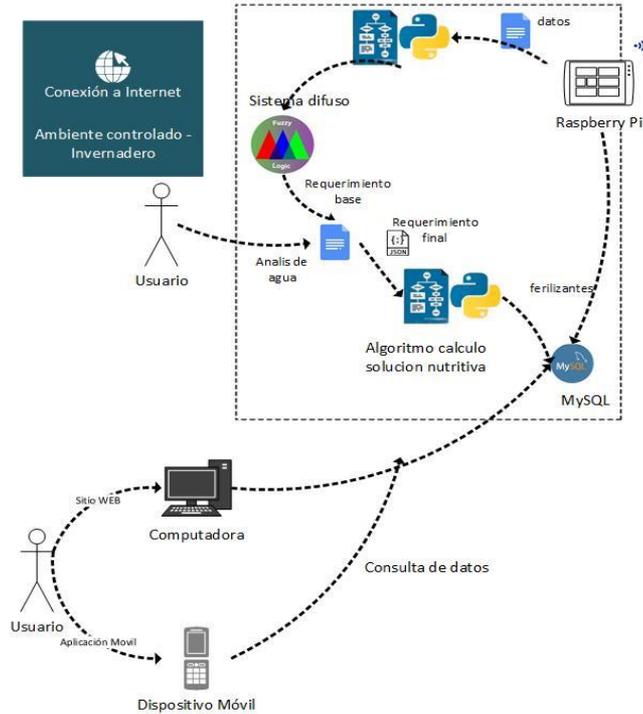
Marco Teórico: Metodología RUP

Proceso Unificado de Desarrollo Rational Unified Process (RUP). Es un proceso para el desarrollo de un proyecto de software que define claramente quien, cómo, cuándo y qué debe hacerse en el proyecto

La estructura dinámica de RUP es la que permite que éste sea un proceso de desarrollo fundamentalmente iterativo, y en esta parte se ven inmersas las cuatro fases descritas

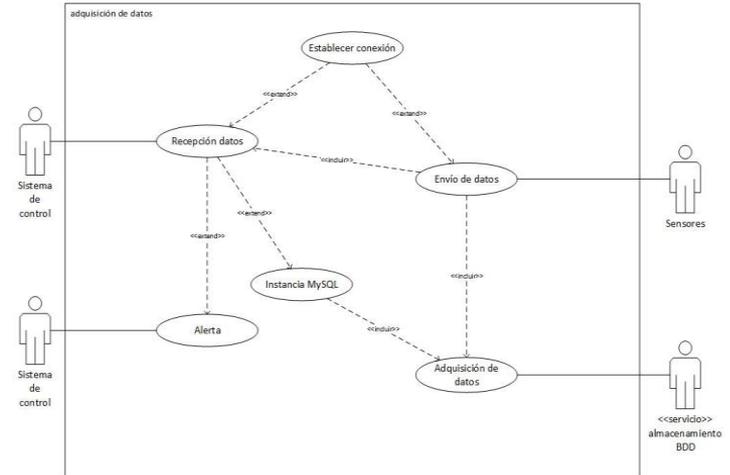


Desarrollo: Inicio – Arquitectura



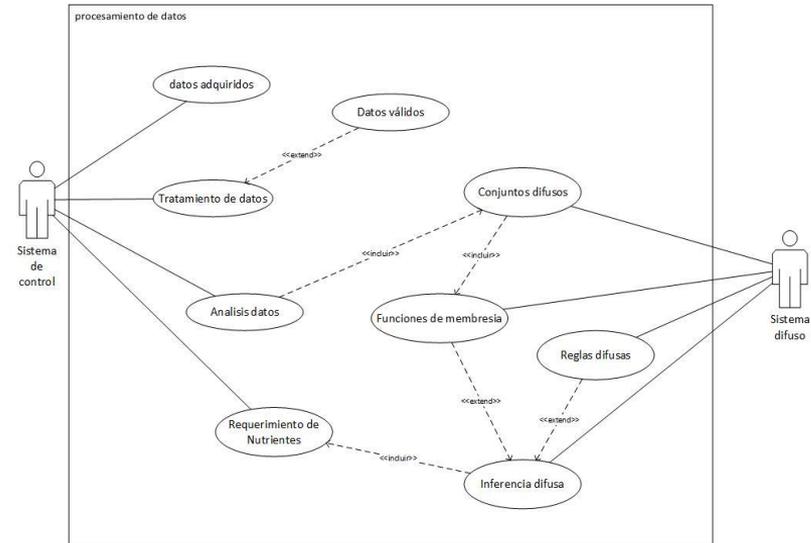
Adquisición de datos

| Especificación de caso de Uso: Adquisición de datos | |
|---|--|
| Id: | 1 |
| Breve descripción: | Adquisición de datos por parte de los sensores y el sistema. |
| Actores Primarios: | Sistema, sensores, base de datos, usuario. |
| Precondiciones: | <ol style="list-style-type: none">1. Los sensores deben estar calibrados.2. El sistema debe estar conectado a la red3. Los sensores deben estar conectados al sistema |
| Flujo principal: | <ol style="list-style-type: none">1. Conexión establecida a Internet2. Envío de datos por parte de los sensores3. Recepción de datos por parte del sistema4. Envío de alerta al usuario5. Instancia base de datos6. Adquisición de datos7. El sistema almacena los datos |
| Post-condiciones: | Una vez que el sistema adquiera los datos emitidos por los sensores se procede a seguir con la fase de procesamiento. |



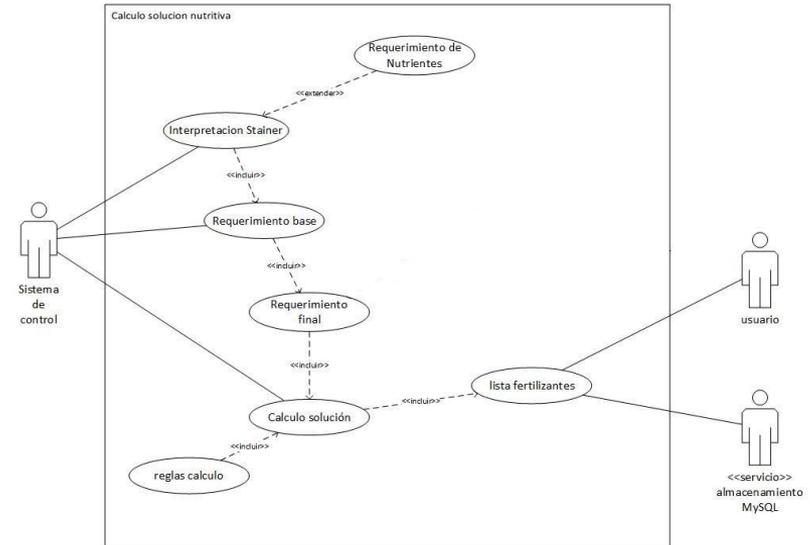
Procesamiento de datos

| | |
|--|--|
| Caso de Uso: Procesamiento de datos | |
| Id: | 2 |
| Breve descripción: | El sistema adquiere los valores emitidos por los sensores y los procesa, para posteriormente condicionar los mismos. |
| Actores Primarios: | Sistema de control, sistema difuso. |
| Precondiciones: | <ol style="list-style-type: none">1. El sistema debe estar conectado a la red.2. Los sensores deben estar conectados al sistema3. Se debe adquirir los datos previamente |
| Flujo principal: | <ol style="list-style-type: none">1. El sistema adquiere los datos2. El sistema da tratamiento a los datos3. El sistema valida los datos4. Asignar valores de entrada a los conjuntos difusos5. Asignación de valores a las funciones de membresía.6. Asignación reglas difusas en base a las funciones de membresía.7. Inferencia difusa8. Salida requerimiento de nutrientes. |
| Post-condiciones: | El sistema deberá proceder al cálculo de la solución nutritiva. |



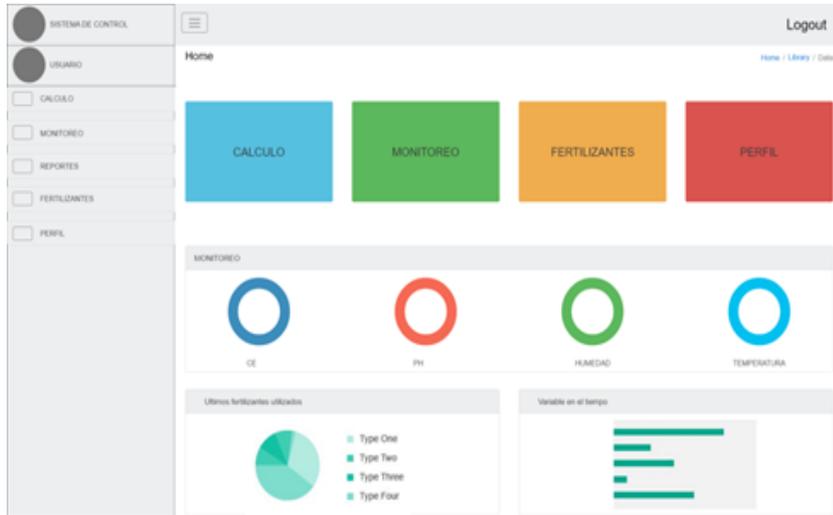
Cálculo de solución nutritiva

| | |
|---|---|
| Caso de Uso: Cálculo de solución nutritiva | |
| Id: | 3 |
| Breve descripción: | Una vez realizado el tratamiento de datos por medio de la lógica difusa de manera precisa, se procede a realizar el cálculo de solución nutritiva |
| Actores Primarios: | Sistema, usuario. |
| Precondiciones: | 1. El sistema deberá obtener el requerimiento de nutrientes para proceder a realizar el cálculo de solución nutritiva |
| Flujo principal: | 1. El sistema recibe el requerimiento de nutrientes 2. El sistema genera un nuevo requerimiento de nutrientes a suplir 3. El Sistema realiza el cálculo de la solución nutritiva 4. El usuario visualiza la cantidad de nutrientes a aplicarse dentro del cultivo hidropónico 5. Se almacena en la base de datos la cantidad de nutrientes aplicada |
| Post-condiciones: | El sistema notifica al usuario cuánto de solución nutritiva debe aplicar en el cultivo hidropónico. |
| Flujos Alternativos: | Ninguno. |

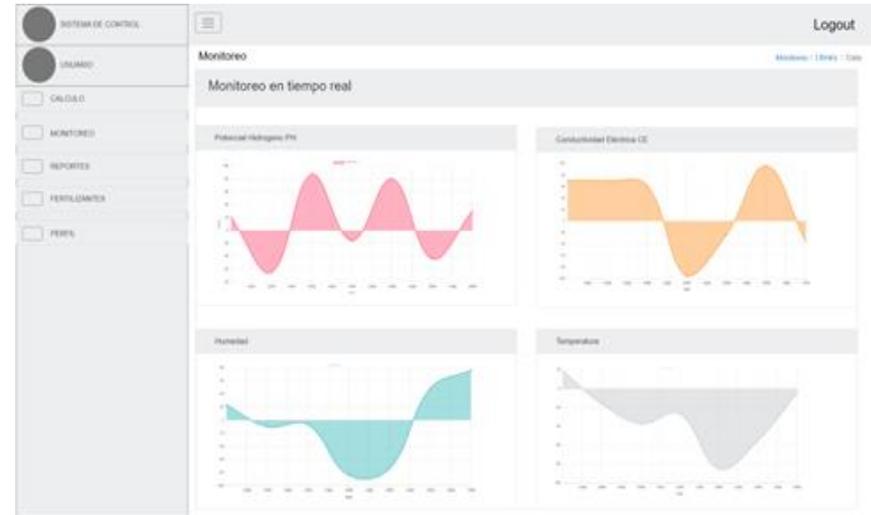


Desarrollo: *Elaboración – Prototipos*

Panel de control



Monitoreo y control

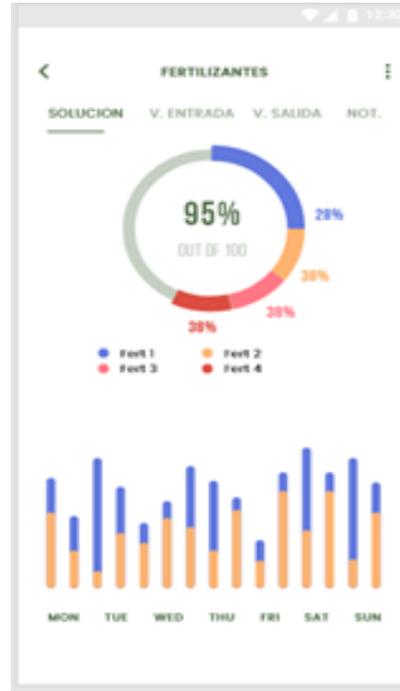


Desarrollo: *Elaboración – Prototipos*

Monitoreo



Solución nutritiva

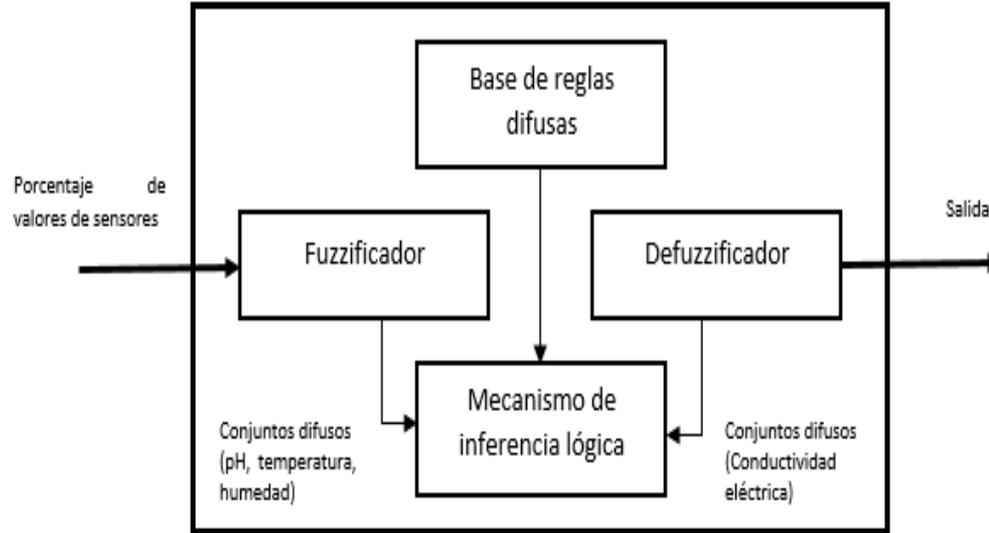


Notificaciones



Desarrollo: *Implementación – Sistema difuso*

Arquitectura del modelo



Desarrollo: Sistema difuso

| Variable lingüística (Temperatura) | Salida | Rango |
|------------------------------------|--------|-------------------|
| frio | 18 | valor salida < 19 |
| deseado | 19 | valor salida ≤ 20 |
| caliente | 21 | valor salida > 20 |

| Variable lingüística (Humedad) | Salida | Rango |
|--------------------------------|----------|-------------------------|
| Bajo | 0 – 65 | 0 ≤ valor salida ≤ 65 |
| Deseado | 55 – 85 | 55 ≤ valor salida ≤ 85 |
| Alto | 75 – 100 | 75 ≤ valor salida ≤ 100 |

| Variable lingüística (pH) | Salida | Rango |
|---------------------------|-----------|--------------------------|
| Bajo | 0 - 5.5 | 0.0 ≤ valor salida ≤ 5.5 |
| Deseado | 5.0 - 6.5 | 5.0 ≤ valor salida ≤ 6.5 |
| Alto | 6.0 - 8.0 | 6.0 ≤ valor salida ≤ 8.0 |

$$\text{Temperatura}_{frio} = \begin{cases} 0 \\ \frac{19.5 - \text{valor}}{19.5 - 18} \\ 1 \end{cases}$$

$$\text{Temperatura}_{deseado} = \begin{cases} 0 \\ \frac{\text{valor} - 19}{20 - 19} \\ \frac{21 - \text{valor}}{21 - 20} \\ 0 \end{cases}$$

$$\text{Temperatura}_{caliente} = \begin{cases} 0 \\ \frac{\text{valor} - 20.5}{22 - 20.5} \\ 1 \end{cases}$$

$$\text{Humedad}_{frio} = \begin{cases} 0 \\ \frac{65 - \text{valor}}{65 - 45} \\ 1 \end{cases}$$

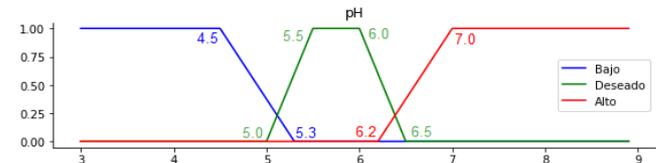
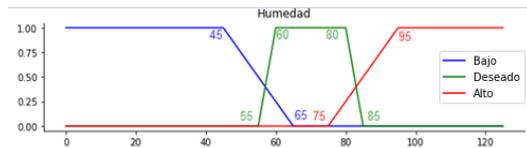
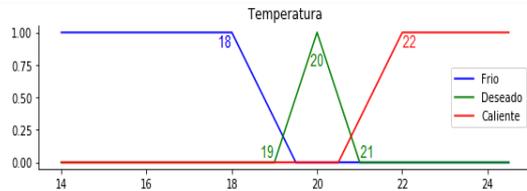
$$\text{Humedad}_{deseado} = \begin{cases} 0 \\ \frac{\text{valor} - 55}{60 - 55} \\ 1 \\ \frac{85 - \text{valor}}{95 - 80} \end{cases}$$

$$\text{Humedad}_{caliente} = \begin{cases} 0 \\ \frac{\text{valor} - 75}{95 - 75} \\ 1 \end{cases}$$

$$\text{pH}_{frio} = \begin{cases} 0 \\ \frac{5.3 - \text{valor}}{5.3 - 4.5} \\ 1 \end{cases}$$

$$\text{pH}_{deseado} = \begin{cases} 0 \\ \frac{\text{valor} - 5.0}{5.5 - 5.0} \\ 1 \\ \frac{6.5 - \text{valor}}{6.5 - 6.0} \end{cases}$$

$$\text{pH}_{caliente} = \begin{cases} 0 \\ \frac{\text{valor} - 6.2}{7.0 - 6.2} \\ 1 \end{cases}$$



Desarrollo: Sistema difuso

Conjunto difuso - temperatura

La temperatura es un factor que incide en el consumo de nutrientes y crecimiento de la planta. Para este caso la temperatura adecuada de la fresa para nuestro caso es: 19 a 21 [°C].

Rangos

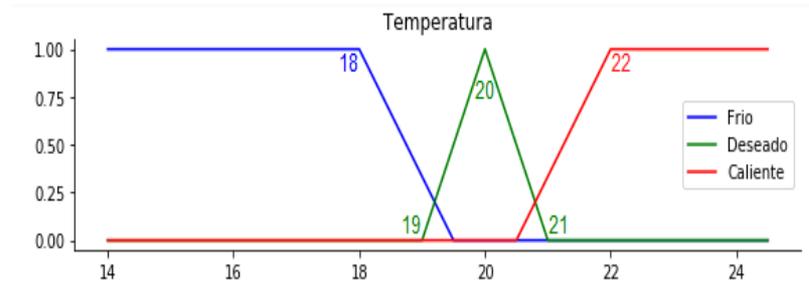
| Variable lingüística (Temperatura) | Salida | Rango |
|------------------------------------|--------|-------------------|
| frío | 18 | valor salida < 19 |
| deseado | 19 | valor salida ≤ 20 |
| caliente | 21 | valor salida > 20 |

Función de membresía

$$\text{Temperatura}_{\text{frío}} = \begin{cases} 0 & \\ \left(\frac{19.5 - \text{valor}}{19.5 - 18}\right) & \\ 1 & \end{cases}$$

$$\text{Temperatura}_{\text{deseado}} = \begin{cases} 0 & \\ \left(\frac{\text{valor} - 19}{20 - 19}\right) & \\ \left(\frac{21 - \text{valor}}{21 - 20}\right) & \\ 0 & \end{cases}$$

$$\text{Temperatura}_{\text{caliente}} = \begin{cases} 0 & \\ \left(\frac{\text{valor} - 20.5}{22 - 20.5}\right) & \\ 1 & \end{cases}$$



Desarrollo: Sistema difuso

Conjunto difuso – humedad

Una buena humedad permite a la fresa transpirar y evita la presencia de ciertas enfermedades por exceso de humedad. La humedad adecuada para este caso será: 60 - 80 %, niveles altos de humedad elevan las posibilidades de presencia de hongos y no permite la transpiración en la planta y bajos niveles indican que requiere de solución nutritiva.

Rangos

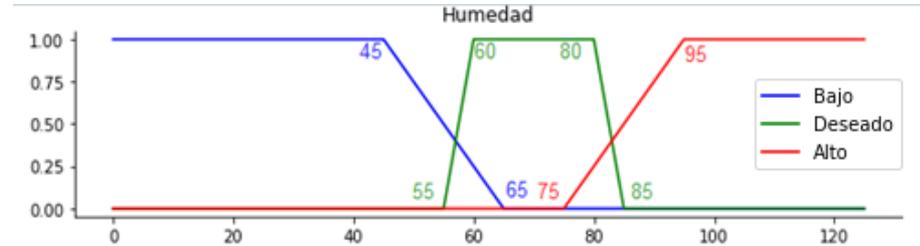
| Variable lingüística (Humedad) | Salida | Rango |
|--------------------------------|----------|--|
| Bajo | 0 – 65 | $0 \leq \text{valor salida} \leq 65$ |
| Deseado | 55 – 85 | $55 \leq \text{valor salida} \leq 85$ |
| Alto | 75 – 100 | $75 \leq \text{valor salida} \leq 100$ |

$$\text{Humedad}_{frio} = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{valor} \geq 65 \\ \frac{65 - \text{valor}}{65 - 45} & \text{si } 45 < \text{valor} < 65 \\ 1 & \text{si } \text{valor} \leq 45 \end{cases}$$

$$\text{Humedad}_{deseado} = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{valor} < 55 \text{ o } \text{valor} > 85 \\ \frac{\text{valor} - 55}{60 - 55} & \text{si } 55 < \text{valor} < 60 \\ \frac{85 - \text{valor}}{95 - 80} & \text{si } 80 < \text{valor} < 95 \\ 1 & \text{si } 60 \leq \text{valor} \leq 80 \end{cases}$$

$$\text{Humedad}_{caliente} = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{valor} < 75 \\ \frac{\text{valor} - 75}{95 - 75} & \text{si } 75 < \text{valor} < 95 \\ 1 & \text{si } \text{valor} \geq 95 \end{cases}$$

Función de membresía



Desarrollo: Sistema difuso

Conjunto difuso – pH

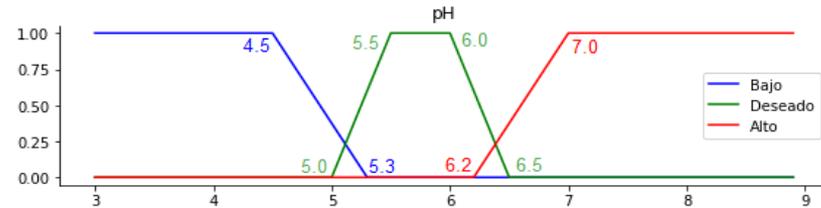
El control de pH en la solución nutritiva permite la disponibilidad y absorción de nutrientes de manera que se lleva a cabo dentro de un rango definido, para nuestro caso será de 5.0 a 6.5 de pH.

Rangos

| Variable lingüística (pH) | Salida | Rango |
|---------------------------|-----------|---|
| Bajo | 0 - 5.5 | $0.0 \leq \text{valor salida} \leq 5.5$ |
| Deseado | 5.0 - 6.5 | $5.0 \leq \text{valor salida} \leq 6.5$ |
| Alto | 6.0 - 8.0 | $6.0 \leq \text{valor salida} \leq 8.0$ |

Función de membresía

$$\mu_{\text{pH}_{frio}} = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{pH} \geq 5.3 \\ \frac{5.3 - \text{valor}}{5.3 - 4.5} & \text{si } 4.5 < \text{pH} < 5.3 \\ 1 & \text{si } \text{pH} \leq 4.5 \end{cases}$$
$$\mu_{\text{pH}_{deseado}} = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{pH} \leq 5.0 \text{ o } \text{pH} \geq 6.5 \\ \frac{\text{valor} - 5.0}{5.5 - 5.0} & \text{si } 5.0 < \text{pH} < 5.5 \\ 1 & \text{si } 5.5 \leq \text{pH} \leq 6.0 \\ \frac{6.5 - \text{valor}}{6.5 - 6.0} & \text{si } 6.0 < \text{pH} < 6.5 \\ 0 & \text{si } \text{pH} \geq 6.5 \end{cases}$$
$$\mu_{\text{pH}_{caliente}} = \begin{cases} 0 & \text{si } \text{pH} \leq 6.0 \\ \frac{\text{valor} - 6.2}{7.0 - 6.2} & \text{si } 6.0 < \text{pH} < 7.0 \\ 1 & \text{si } \text{pH} \geq 7.0 \end{cases}$$



Desarrollo: Sistema difuso

Conjunto difuso – conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica en el agua de solución es una medida indirecta de la concentración de nutrientes diluidos en el agua. La fresa en su crecimiento consume estos nutrientes y por ende cambia el valor de conductividad eléctrica.

Para este caso, nuestro rango adecuado de conductividad eléctrica en el cultivo de fresa será de 1.0 a 2.5 [mS].

Rangos

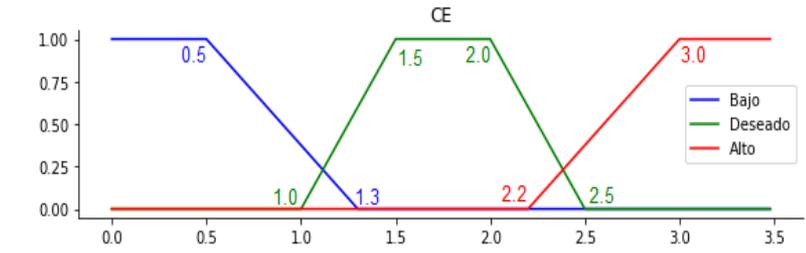
| Variable lingüística (CE) | Salida | Rango |
|---------------------------|-----------|---|
| bajo | 1.0 - 1.5 | $1.0 \leq \text{valor salida} \leq 1.5$ |
| deseado | 1.4 - 2.0 | $1.4 \leq \text{valor salida} \leq 2.0$ |
| alto | 1.9 - 3.0 | $1.9 \leq \text{valor salida} \leq 3.0$ |

Función de membresía

$$\text{Conductividad eléctrica}_{\text{bajo}} = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 1.0 \\ \frac{1.3 - \text{valor}}{1.3 - 0.5} & \text{si } 1.0 \leq x < 1.3 \\ 1 & \text{si } x \geq 1.3 \end{cases}$$

$$\text{Conductividad eléctrica}_{\text{deseado}} = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 1.0 \text{ o } x > 2.5 \\ \frac{\text{valor} - 1.0}{1.5 - 1.0} & \text{si } 1.0 \leq x < 1.5 \\ \frac{2.5 - \text{valor}}{2.5 - 2.0} & \text{si } 1.5 \leq x < 2.5 \end{cases}$$

$$\text{Conductividad eléctrica}_{\text{alto}} = \begin{cases} 0 & \text{si } x < 1.9 \\ \frac{\text{valor} - 2.2}{3.0 - 2.2} & \text{si } 1.9 \leq x < 3.0 \\ 1 & \text{si } x \geq 3.0 \end{cases}$$



Desarrollo: Sistema difuso

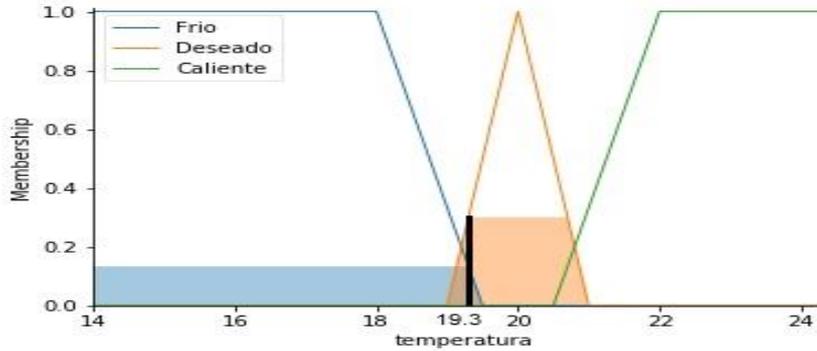
Para el sistema difuso se definieron las siguientes reglas:

- Regla $_1$ = si Temperatura *deseado* Y Humedad *bajo* Y Ph *deseado* entonces Conductividad Eléctrica *deseado*
- Regla $_2$ = si Temperatura *caliente* Y Humedad *bajo* Y Ph *deseado* entonces Conductividad Eléctrica *deseado*
- Regla $_3$ = si Temperatura *frio* Y Humedad *bajo* Y Ph *deseado* entonces Conductividad Eléctrica *bajo*
- Regla $_4$ = si Temperatura *deseado* Y Humedad *bajo* Y Ph *alto* entonces Conductividad Eléctrica *alto*
- Regla $_5$ = si Temperatura *deseado* Y Humedad *bajo* Y Ph *bajo* entonces Conductividad Eléctrica *bajo*

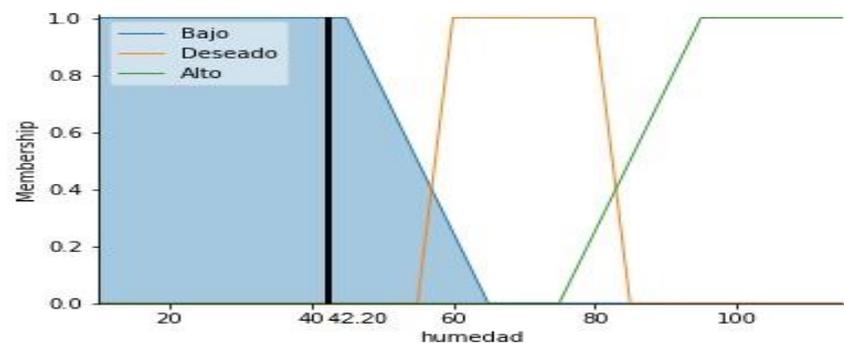


Pruebas: Sistema de control

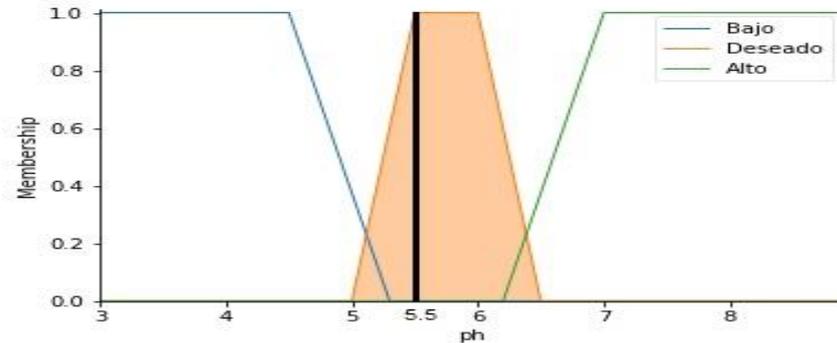
Temperatura: 19.3



Humedad: 42.20%



pH: 5.5

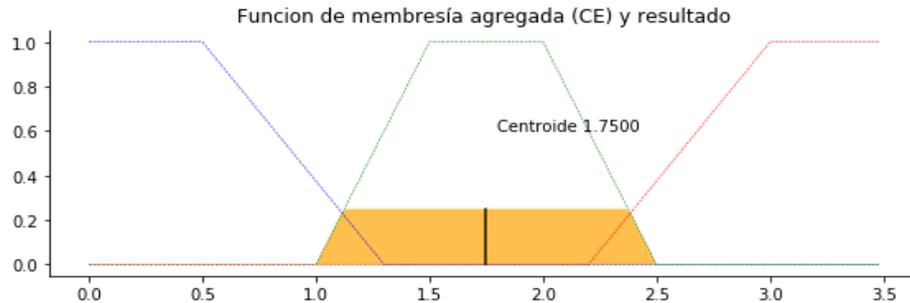


Regla₁ = Si Temperatura_{deseado} Y Humedad_{bajo} Y Ph_{deseado} entonces
Conductividad Eléctrica_{deseado}



Pruebas: Sistema de control

Salida: 1,75



Requerimiento de nutrientes

$$\text{Nitrógeno (N)} = \frac{1.75 * 168.15}{2} = 147$$

$$\text{Fósforo (P)} = \frac{1.75 * 31}{2} = 27$$

$$\text{Potasio (K)} = \frac{1.75 * 273}{2} = 239$$

$$\text{Calcio (Ca)} = \frac{1.75 * 180}{2} = 158$$

$$\text{Magnesio (Mg)} = \frac{1.75 * 48}{2} = 42$$

$$\text{Azufre (S)} = \frac{1.75 * 111.88}{2} = 98$$



Pruebas: *Sistema de control*

Solución nutritiva generada

| Fertilizante | Cantidad | Unidad |
|----------------------|----------------|-------------|
| Nitrato de calcio. | 929.41 | mg/L |
| Nitrato de potasio. | 58.38 | mg/L |
| Sulfato de potasio. | 494.09 | mg/L |
| Sulfato de Magnesio. | 420 | mg/L |
| Fosfato Monoamónico. | 128.57 | mg/L |
| Total: | 2030.45 | mg/L |

Aporte de nutrientes

| Nutriente | Porcentaje de aporte |
|---------------|----------------------|
| Nitrógeno (N) | 100% |
| Fósforo (P) | 100% |
| Potasio (K) | 100% |
| Calcio (Ca) | 100% |
| Magnesio (Mg) | 100% |
| Azufre (S) | 150.38% |



Pruebas

- Cada 15 días aproximadamente durante 5 meses se suministro solución nutritiva al sistema hidropónico automatizado (SHA) y al sistema hidropónico manual (SHM), el desarrollo fenológico de la planta se completo en 120 para el SHA mientras que en el SHM fue en 150 días, la cantidad total de solución nutritiva suministrada en SHA fue de 7554 mg/L y la del SHM fue de 15066 mg/L
- Todas las soluciones nutritivas generadas sirvieron para validar el funcionamiento del sistema.



VALIDACIÓN



Análisis comparativo

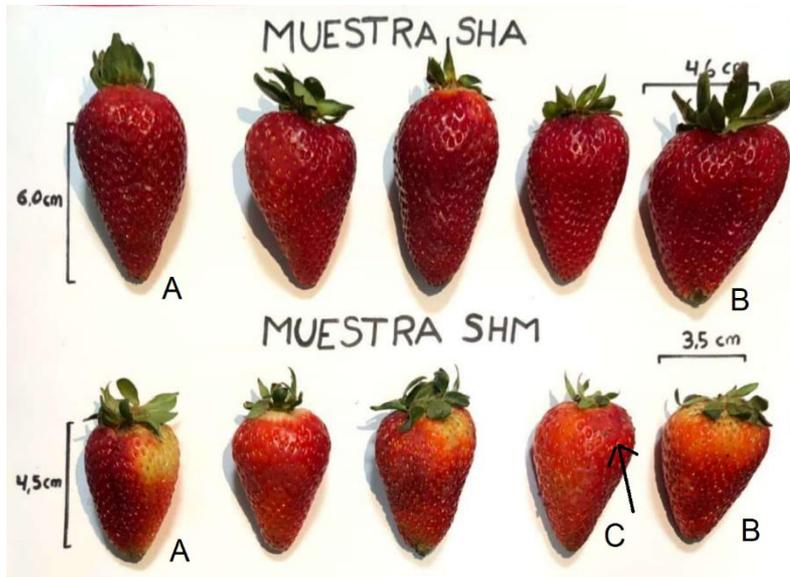
| N° | Elemento de análisis | Sistema hidropónico tradicional | Según INTAGRI | Sistema hidropónico con tecnología |
|----|---|---|---------------|---|
| 1 | Tiempo de desarrollo | 5 meses | > 5 meses | <= 4 meses |
| 2 | cantidad de solución nutritiva aplicada | 15066 mg/L | 16520 mg/L | 7554 mg/L |
| 3 | costo de fertilizantes (por cada aplicación) | 1.00\$ m2 | 1.20\$ m2 | 0.84\$ m2 |
| 4 | Diámetro de la fresa grande | 37.2mm | 35-40 mm | 42.2mm |
| 5 | Control de las variaciones de temperatura | Es más difícil 13-17°C | 15-20 °C | Es más fácil mediante la oxigenación de la solución 16,2-19°C |
| 6 | Hay un control completo, estable y preciso de nutrientes para todas las plantas | Fácil. Hay un buen control de pH, para realizar muestras y ajustes en forma manual. | Fácil control | Fácil. Hay un buen control de pH y CE facilita realizar muestras y ajustes en forma automatizada. |



| N° | Elemento de análisis | Sistema hidropónico tradicional | Según INTAGRI | Sistema hidropónico con tecnología |
|----|--|---|---------------|---|
| 7 | Se debe cambiar toda la solución para garantizar un buen balance de nutrientes, pH y conductividad eléctrica | Si | Si | No |
| 8 | Contaminación ambiental por residuos de solución nutritiva. | Es mayor | Es mayor | Es menor |
| 9 | Absorción más homogénea de nutrientes por las raíces | Si | Si | Si, pero mayor que en el sistema tradicional. |
| 10 | Mantenimiento | Medio | Medio | Bajo |
| 11 | Monitoreo remoto | No | No | Si |
| 12 | Necesidad de oxigenación de la solución nutritiva. (De no ser atendidas adecuadamente las raíces podrían sufrir asfixia, y causar marchitez.) | Es mayor y esta puede hacerse de forma manual | Mayor | Es menor y puede hacerse instalando oxigenadores en los contenedores. |



Indicadores de la fresa



| Indicadores | Sistema hidropónico automatizado | Sistema hidropónico manual |
|----------------------|---|---|
| Firmeza | No posee daño físico agujeros, manchas o moho y posee una textura más dura por lo que se puede considerar que es un fruto de buen aspecto y calidad. | Posee ligeros daños físicos como se puede observar en la figura C y una textura más suave, lo que disminuye la calidad |
| Tamaño | Las muestras demuestran un tamaño de 6.0 cm de altura como se puede ver en la figura A y un ancho de 4.6 cm como se puede ver en la figura B, mejorando en tamaño y ancho | Las muestras tienen un tamaño de 4.5 cm como se muestra en la figura A y un ancho de 3.5 cm, logrando un fruto regular |
| Color y sabor | De las observaciones realizadas a las muestras se puede determinar que el fruto tiene un color más rojizo lo que corresponde a un sabor más dulce, lo que se comprobó con degustación | Algunas muestras poseen un color amarillizo lo que corresponde a un sabor más agrio, lo que se comprobó con degustación |



Conclusiones

- En este trabajo de investigación se construye basado en los conocimientos de un experto humano para automatizar el balance de solución nutritiva para el cultivo hidropónico de fresa. Se utiliza para ello una red de sensores que permiten adquirir y monitorear variables de temperatura, humedad, pH y conductividad eléctrica, las cuales permiten mediante un sistema difuso dar una aproximación sobre la solución nutritiva que será suministrada a las plantas, con la finalidad de mejorar la calidad de la planta. Este sistema se desarrolló en la empresa “Asis – Agro”
- Se realizó un estudio y entrevistas al experto humano (agronomo) sobre cultivos hidropónicos de la fresa, soluciones nutritivas, variables físico – ambientales como temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica. Lo que permitió extraer el conocimiento necesario para el diseño del sistema difuso. Por un lado, conocer los rangos de valores de cada una de las variables y por otro las reglas que determinan el cálculo de nutrientes, combinación de nutrientes para generar y mantener un equilibrio nutricional del cultivo.



Conclusiones

- El sistema difuso propicia un grado de correlación para la mejora del control del balance de solución nutritiva. Al monitorear temperatura, humedad, pH, conductividad eléctrica se pudo establecer rangos para ajustar los niveles de las variables dentro del cultivo hidropónico logrando determinarse que existe entre las variables de temperatura que está directamente correlacionada con la humedad, es decir, mientras que la temperatura aumenta la humedad esto conlleva a secar al cultivo y genera una nueva combinación nutritiva, en el caso del pH esta correlacionado con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva influyendo sobre el cálculo de nutrientes. Factores que determinan la solución nutritiva.



Conclusiones

- Los resultados obtenidos tanto en el laboratorio y la observación de expertos agrónomos, determinaron que el sistema hidropónico automatizado fue superior en cuanto a los aspectos que presentaron al sistema manual como: disminución de cantidad de solución nutritiva suministrada existiendo un ahorro aproximado de un 50% en nutrientes, reducción en el tiempo de desarrollo del cultivo en un 20%, un mejor control de variables, un ambiente controlado. Posibilitando una producción de fresa con alta calidad en cualquier época del año y una sostenibilidad en la tendencia actual de consumir productos limpios y orgánicos.

