

## 1. Objetivo del trabajo

Desarrollar un Sistema Experto rule-based, implementado en Python (librería experta), que asista a productores locales en la optimización y mantenimiento de cultivos hidropónicos bajo invernadero. El sistema deberá diagnosticar automáticamente desviaciones en parámetros críticos (pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad, fotoperiodo) y recomendar acciones correctivas basadas en el conocimiento de agrónomos expertos.

## 2. Problema específico

**Complejidad multidimensional:** El éxito de un cultivo hidropónico depende de la interacción precisa entre varios parámetros físico-químicos.

**Falta de capacitación local:** Muchos pequeños productores manejan estos parámetros de forma empírica, lo que provoca pérdidas de hasta el 50 % cuando se desajustan pH o nutrientes.

**Ventana de respuesta crítica:** Retrasos en la corrección de un pH demasiado ácido o una temperatura de solución inadecuada pueden arruinar cosechas en tan solo 24–48 horas.

## 3. Contexto y relevancia

**Clima extremo fueguino:** Invierno con temperaturas bajo 0 °C, vientos fuertes y baja radiación solar hace inviable el cultivo a cielo abierto más allá de 3–4 meses al año.

**Dependencia de importaciones:** Las hortalizas frescas se importan desde el continente, encareciendo precios locales un 30–40 % y aumentando la huella de carbono.

**Emprendimientos emergentes:** Micro-productores en Tolhuin y Río Grande ya operan invernaderos NFT/DWC desde 2022, pero carecen de herramientas que sistematicen las mejores prácticas agronómicas.

### Relevancia

- **Económica:** Reducir costos de producción y mermas, mejorando la rentabilidad de pequeños invernaderos.

- Social: Garantizar suministro local de vegetales frescos durante todo el año, mejorando la seguridad alimentaria.
- Ambiental: Minimizar consumo de agua (< 10 % de la horticultura tradicional) y emisiones asociadas al transporte.

## 4. Aporte del Sistema Experto

El sistema aportará valor en cinco dimensiones principales, describiendo claramente qué y cómo mejora la gestión de cultivos hidropónicos bajo invernadero:

1. Diagnóstico inteligente de parámetros críticos
  - a. Permite al productor ingresar valores de pH, conductividad, temperatura y humedad de manera sencilla.
  - b. Detecta de forma inmediata cualquier desviación fuera de los rangos recomendados según la especie y etapa de cultivo.
  - c. Emite alertas tempranas que evitan que pequeños desajustes se conviertan en pérdidas de cosecha.
2. Recomendaciones agronómicas contextualizadas
  - a. Ofrece pautas concretas para corregir cada variable: ajustes de nutrientes, temperatura de la solución, dosis de buffer o cambios de concentración.
  - b. Incluye sugerencias de manejo preventivo de plagas y enfermedades (por ejemplo, control de humedad y ventilación).
  - c. Adapta las recomendaciones al tipo de cultivo (lechuga, rúcula, microgreens, aromáticas) y a su fase de crecimiento.
3. Planificación y programación de tareas
  - a. Genera un cronograma de riego, recirculación y recarga de nutrientes según la superficie y densidad de plantines.
  - b. Indica cuándo renovar completamente la solución o realizar limpiezas periódicas del sistema.
  - c. Facilita la organización de las tareas diarias y reduce la carga de decisiones manuales.
4. Trazabilidad y mejora continua

- a. Registra cada sesión de diagnóstico y las acciones recomendadas, creando un historial de decisiones.
  - b. Permite al experto y al productor revisar casos pasados, evaluar resultados y refinar las reglas de inferencia.
  - c. Favorece la generación de estadísticas de rendimiento y la evolución de parámetros en el tiempo.
5. Interfaz amigable y escalabilidad
- a. Diseñado para desplegarse como un servicio web o chatbot que guíe paso a paso al usuario, sin necesidad de conocimientos técnicos profundos.
  - b. La base de conocimiento es modular: se puede ampliar fácilmente con nuevas especies, variables de control (como luz LED o CO<sub>2</sub>), o incorporar normas de bioseguridad.
  - c. Facilita la integración con sensores y sistemas de monitoreo en tiempo real para evoluciones futuras, garantizando un crecimiento sostenible del proyecto.

Con estas funcionalidades, el Sistema Experto no solo traduce el conocimiento agronómico local en reglas claras, sino que actúa como un asistente permanente, reduciendo errores, mejorando la eficiencia de recursos y fortaleciendo la autonomía de los productores fueguinos en el cultivo hidropónico bajo invernadero.