# Monitoreo y Gestión de la Calidad del Agua en Granjas de Pescado

Este documento presenta una propuesta integral de monitoreo y gestión para mejorar la calidad del agua en granjas de pescado, con énfasis en el control de oxígeno disuelto (OD) y la problemática del lirio acuático (Eichhornia crassipes). El objetivo es implementar sensores, telemetría y estrategias operativas que permitan anticipar caídas de oxígeno y automatizar la aireación, reduciendo mortalidad y mejorando la eficiencia.

## Variables críticas a monitorear

- Oxígeno disuelto (OD)  
- Temperatura (a varias profundidades)  
- Salinidad / Conductividad  
- pH  
- Potencial óxido-reducción (ORP)  
- Amoníaco (TAN/NH₃)  
- Nitrito (NO₂⁻)  
- Alcalinidad  
- Presión barométrica  
- Viento  
- Lluvia  
- Nivel/altura del agua  
- Radiación PAR/incidencia solar  
- Clorofila-a / Ficotoxinas (proxys de fitoplancton)  
- Turbidez/TSS  
- Flujo de entrada/salida (m³/h)  
- Biomasa/stocking density  
- Alimentación (tasa y horarios)  
- Estado de aireadores (ON/OFF, amperaje, horas de uso)

## Estrategias de control y alertas

1. Alertas por umbral:  
 - OD < 5 mg/L → advertencia  
 - OD < 4 mg/L → encendido de aireadores  
 - OD < 3 mg/L → crítico  
  
2. Alertas por tendencia:  
 - Caída de OD en la tarde (> -0.1 mg/L·h) aun con buena radiación → encendido preventivo.  
  
3. Modelo predictivo:  
 - Predicción del mínimo nocturno de OD (04:00–06:00) usando OD vespertino, PAR, temperatura, viento y cobertura vegetal.  
  
4. Automatización:  
 - Encendido programado de aireadores por sectores.

## Frecuencia de muestreo y colocación de sensores

- OD, T°, pH, conductividad: cada 1–5 min, a dos profundidades.  
- PAR, viento, presión: cada 1–5 min (estación meteorológica local).  
- Clorofila/turbidez: cada 5–15 min o muestreo manual diario.  
- Nutrientes (TAN, NO₂⁻, fosfato): análisis diario/semanal.  
- Colocar sensores en zonas críticas: descarga de alimento, esquinas muertas, zonas contra-viento.

## Diseño de dashboard

- Vista por estanque: OD actual, tendencia, T°, pH, estado de aireadores.  
- Pronóstico de OD mínimo nocturno.  
- Heatmap de OD/ radiación diaria.  
- Registro de eventos: alimentación, tratamientos, lluvias, cosechas.  
- Alarmas automáticas vía SMS/WhatsApp. (Tentativo)

## Problemática del lirio acuático

El lirio acuático (Eichhornia crassipes) es una de las principales amenazas para el manejo del agua en granjas de pescado. Reduce la penetración de luz solar, inhibe el intercambio gaseoso, aumenta la demanda de oxígeno en la noche y dificulta la operación y navegación por los canales.

### Monitoreo y control del lirio acuático

- Cobertura de lirio (% del espejo de agua)  
- Anchura libre de canal de navegación  
- Atenuación de luz bajo lirio  
- Velocidad/flujo en canales  
- Nutrientes (Nitratos, Fosfatos)  
- Viento predominante (predice acumulación de lirio)  
  
Métodos de monitoreo:  
- Cámaras fijas con visión computacional (estimación de cobertura %).  
- Drones con ortomosaicos y NDVI/NDWI.  
- Boyas testigo.

### Estrategias de control del lirio

1. Mecánicas:  
- Barreras flotantes para encauzar lirio.  
- Cosecha mecánica (retiro y disposición controlada).  
- Aireadores o circuladores para romper alfombras.  
  
2. Ecológicas/biológicas:  
- Reducción de nutrientes en entradas.  
- Biocontrol (gorgojos Neochetina).  
  
3. Químicas (último recurso):  
- Herbicidas regulados, aplicados por parches con aireación posterior. (NO LO RECOMIENDO)

## Checklist de implementación

1. Instalar sensores de OD, T°, pH, PAR, viento y telemetría en aireadores.  
2. Incorporar sistema de visión (cámara/dron) para estimar % de lirio.  
3. Definir umbrales: 15% cobertura (preventivo), 30% cobertura (acción).  
4. Implementar barreras flotantes y puntos de cosecha.  
5. Iniciar bitácora de eventos: retiros, nutrientes, lluvias, alimentación.  
6. Construir modelo predictivo de OD mínimo con cobertura de lirio incluida.