

Plan Complementario de 12 Meses

Doctorado en Ciencias Computacionales (DCC)

Tecnológico de Monterrey

Autor: Edgar Eduardo Peña Sandoval

Título del proyecto: *Agronomía Inteligente: Sensores Ópticos y Ciencia de Datos para la Optimización de Viñedos*

Duración del plan: 12 meses (enero–diciembre 2026)

1. Introducción

El presente documento establece la planeación detallada de las actividades complementarias del primer año de investigación doctoral en el Tecnológico de Monterrey, dentro del marco del proyecto “*Agronomía Inteligente: Sensores Ópticos y Ciencia de Datos para la Optimización de Viñedos*”.

El propósito fundamental es consolidar las bases teóricas, computacionales y experimentales del proyecto, garantizando un desarrollo progresivo en tres dimensiones clave: el modelado físico del sensor, la implementación de algoritmos de inteligencia artificial y la validación experimental con prototipos reales.

Este plan sigue una estructura mensual orientada a resultados, donde cada mes representa un avance medible en la consolidación del modelo híbrido óptico–inteligente propuesto, con metas alineadas a los lineamientos de calidad científica del DCC y a los estándares de investigación del CONAHCYT.

2. Objetivo general

Establecer los fundamentos teóricos, computacionales y experimentales necesarios para validar un sistema de sensado inteligente basado en fibras ópticas e inteligencia artificial, aplicado a la optimización de procesos vitivinícolas.

3. Objetivos específicos

- Formular el modelo físico-matemático del sensor óptico propuesto.
- Generar un entorno de simulación numérica en Python para análisis espectral.

- Entrenar modelos de aprendizaje automático sobre datos sintéticos y experimentales.
- Integrar visión computacional para correlacionar información óptica e imágenes agronómicas.
- Diseñar, construir y calibrar un prototipo físico funcional del sensor.
- Publicar resultados en congresos y revistas especializadas.

4. Desarrollo mensual de actividades

Mes 1 — Enero 2026: Revisión bibliográfica y consolidación teórica

Durante el primer mes se realizará una revisión exhaustiva del estado del arte en tres ejes: sensores ópticos de fibra, interferometría multimodo (MMI) y algoritmos de aprendizaje profundo aplicados a análisis espectral. Se elaborará un marco conceptual documentado que describa la brecha científica actual, las limitaciones de los modelos existentes y la propuesta de contribución original. ****Entregable:**** Documento técnico de revisión sistemática (mínimo 15 referencias indexadas).

Mes 2 — Febrero 2026: Formulación matemática del modelo óptico

Se derivarán las ecuaciones de interferencia multimodo y de propagación en fibra para establecer la relación entre longitud de onda y variaciones de pH. Se implementará una primera simulación en MATLAB y Python, verificando coherencia con modelos teóricos. ****Indicador:**** Diferencia máxima de 0.05 nm entre resultados simulados y analíticos.

Mes 3 — Marzo 2026: Construcción del entorno de simulación numérica

Se implementará el modelo completo en Python, integrando librerías científicas (NumPy, SciPy y Matplotlib). Se incorporarán condiciones controladas de temperatura y ruido espectral. ****Entregable:**** Código reproducible y validado mediante curvas de sensibilidad espectral.

Mes 4 — Abril 2026: Generación del dataset sintético

Se simularán 1000 espectros ópticos con variaciones de pH en intervalos de 0.1 unidades. Se almacenarán en un repositorio estructurado (CSV + metadatos). ****Indicador:**** Dataset calibrado con error RMSE 0.1 pH. ****Entregable:**** Repositorio público en GitHub o Zenodo (versión 1.0).

Mes 5 — Mayo 2026: Implementación de algoritmos de aprendizaje automático

Se entrenarán modelos de regresión (Random Forest, SVR, MLP) para correlacionar señales espectrales con valores de pH. Se aplicará validación cruzada ($k = 5$) y búsqueda de hiperparámetros (GridSearchCV). ****Indicador:**** $R^2 0.9$ y error de predicción 0.1 unidades de pH. ****Entregable:**** Reporte técnico comparativo entre algoritmos.

Mes 6 — Junio 2026: Optimización de modelos y validación interna

Se analizará la robustez del modelo bajo ruido ambiental, temperatura y distorsión espectral. Se documentará la eficiencia computacional y la estabilidad del modelo. ****Entregable:**** Versión 2.0 del modelo predictivo optimizado y documentación reproducible.

Mes 7 — Julio 2026: Recolección de imágenes agrícolas

Se realizará la captura de al menos 1200 imágenes de hojas y racimos de vid en distintas condiciones agronómicas. Las imágenes serán procesadas y etiquetadas con valores asociados de pH, temperatura y humedad. ****Entregable:**** Dataset visual agrícola estructurado y anonimizado.

Mes 8 — Agosto 2026: Entrenamiento de modelos de visión computacional

Se entrenarán redes neuronales convolucionales (CNN) con TensorFlow/Keras para identificar patrones visuales relacionados con el estrés del cultivo y madurez del fruto. ****Indicador:**** Precisión 90% y mejora multimodal 15%. ****Entregable:**** Modelo multimodal óptico-visual inicial (versión beta).

Mes 9 — Septiembre 2026: Construcción del prototipo físico

Se fabricará un sensor MMI experimental con fuente LED (600–800 nm), fibra multimodo y espectrómetro USB. Se integrará una interfaz Python para registrar espectros en tiempo real. ****Entregable:**** Prototipo funcional y manual técnico de ensamblaje.

Mes 10 — Octubre 2026: Calibración y pruebas experimentales

Se realizarán mediciones controladas en laboratorio utilizando soluciones buffer (pH 4.0–8.0). Se compararán los resultados experimentales con las simulaciones numéricas para validar el modelo. ****Indicador:**** Error promedio 0.15 unidades de pH; correlación 0.9. ****Entregable:**** Dataset experimental validado.

Mes 11 — Noviembre 2026: Redacción científica y difusión

Se iniciará la redacción del primer artículo científico dirigido a revistas Q1–Q2 (Sensors, IEEE Photonics Journal). Se elaborará un preprint en Zenodo con DOI y se participará en al menos un congreso nacional o internacional. ****Entregables:**** Manuscrito completo y preprint publicado.

Mes 12 — Diciembre 2026: Consolidación, revisión y planeación

Durante este mes se realizará la revisión global de resultados, consolidando el marco teórico y experimental obtenido. Se definirá el plan de extensión a tres años, incorporando líneas de transferencia tecnológica y colaboración con otros laboratorios del Tec. ****Entregable:**** Informe anual de avance doctoral y plan de continuación.

5. Resultados esperados

- Desarrollo de un prototipo funcional de sensor óptico inteligente.
- Publicación de al menos un artículo científico en revista indexada Q1–Q2.
- Liberación de datasets sintéticos y experimentales con DOI.
- Modelo multimodal validado con precisión 90%.
- Consolidación de una red de colaboración académica entre el DCC y laboratorios de óptica aplicada.

6. Conclusión

Este plan mensual ofrece una ruta clara, factible y científica para el desarrollo del primer año de investigación doctoral. Cada etapa está diseñada para garantizar avances medibles y resultados de alta calidad, alineados con las metas del Doctorado en Ciencias Computacionales del Tecnológico de Monterrey.

La metodología propuesta permitirá obtener resultados científicos sólidos, contribuyendo tanto al desarrollo tecnológico en sensores ópticos e inteligencia artificial como al fortalecimiento del ecosistema de investigación interdisciplinaria del DCC.

Autor: Edgar Eduardo Peña Sandoval

Candidato al Doctorado en Ciencias Computacionales

Tecnológico de Monterrey, 2026