

---

## OPTIMIZACIÓN DE SISTEMA DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN

---

201700519 – Stheeven Adonías Coc Chán

### Resumen

Este ensayo aborda el diseño e implementación de un sistema de agricultura de precisión utilizando programación orientada a objetos en Python, estructuras enlazadas personalizadas y visualización de datos con Graphviz. La propuesta responde a la necesidad de optimizar el uso de estaciones base, sensores de suelo y sensores de cultivo, en un contexto donde la sostenibilidad agrícola y la eficiencia tecnológica son prioritarias tanto a nivel nacional como internacional.

La solución se base en la generación de matrices de frecuencia ( $F[n,s]$ ,  $F[n,t]$ ), patrones ( $Fp[n,s]$ ,  $Fp[n,t]$ ) y matrices reducidas ( $Fr[n,s]$ ,  $Fr[n,t]$ ) para cada campo agrícola, permitiendo agrupar estaciones con patrones similares y reducir costos operativos. Se adopta una postura técnica rigurosa, evitando estructuras nativas de Python y priorizando la modularidad, claridad y compatibilidad entre módulos.

El impacto del sistema se refleja en la mejora del rendimiento agrícola, la reducción de recursos, y la capacidad de respuesta en tiempo real. Se concluye que la integración de estructuras enlazadas y visualización gráfica permite una solución robusta, escalable y alineada con los retos actuales del sector agroindustrial.

### Palabras clave

- Agricultura de precisión
- Matrices enlazadas
- Graphviz
- Agrupamiento de estaciones
- Programación orientada a objetos

### Abstract

*This essay presents the design and implementation of a precision agriculture system using object-oriented programming in Python, custom linked data structures, and data visualization through Graphviz. The proposed solution addresses the need to optimize the use of base stations, soil sensors, and crop sensors in a context where agricultural sustainability and technological efficiency are key priorities both nationally and internationally.*

*The system is based on generating frequency matrices ( $F[n,s]$ ,  $F[n,t]$ ), pattern matrices ( $Fp[n,s]$ ,  $Fp[n,t]$ ) and reduced matrices ( $Fr[n,s]$ ,  $Fr[n,t]$ ) for each agricultural field, enabling the grouping of stations with similar patterns and reducing operational costs. A rigorous technical approach is adopted, avoiding native Python structures and prioritizing modularity, clarity, and compatibility across modules.*

*The impact of the system is reflected in improved agricultural performance, reduced resource consumption, and real-time responsiveness. It is concluded that the integration of linked structures and graphical visualization enables a robust, scalable solution aligned with current challenges in the agro-industrial sector.*

### Keywords

- Precision agriculture
- Linked matrices
- Graphviz
- Stations clustering
- Object-oriented programming

## Introducción

La agricultura de precisión representa una evolución tecnológica en la gestión de cultivos, integrando sensores, estaciones base y plataformas inteligentes para optimizar recursos y maximizar el rendimiento. En este contexto, el presente ensayo expone el desarrollo de una solución informática que permite procesar datos agrometeorológicos, de suelo y cultivo mediante estructuras enlazadas y visualización gráfica.

La importancia del tema radica en su aplicabilidad directa en el sector agrícola guatemalteco, donde la eficiencia y sostenibilidad son urgentes. Se parte de la necesidad de reducir el número de estaciones base sin perder cobertura informativa, utilizando matrices de frecuencia, patrones y agrupamiento lógico.

El propósito del ensayo es demostrar cómo una arquitectura modular, basada en programación orientada a objetos y estructuras personalizadas, puede resolver un problema NP-Hard de forma eficiente. ¿Es posible optimizar la infraestructura agrícola sin sacrificar precisión? Esta interrogante guía el desarrollo técnico y argumentativo del trabajo.

## Desarrollo del tema

### a. Fundamentos de la agricultura de precisión

La agricultura de precisión busca adaptar las prácticas agrícolas a la variabilidad espacial y temporal del terreno. Utiliza sensores de suelo y cultivo, estaciones base y plataformas en la nube para recolectar y procesar datos en tiempo real. Esta tecnología permite aplicar insumos de forma localizada, mejorar la productividad y reducir el impacto ambiental (Zhang et al., 2002).

### b. Modelado del problema y enfoque NP-Hard

El diseño óptimo de estaciones base para recolectar datos es un problema combinatorio NP-Hard.

Resolverlo directamente requiere recursos computacionales elevados. Por ello, se propone una metodología de agrupamiento basada en patrones binarios derivados de matrices de frecuencia, que permite reducir el número de estaciones sin perder cobertura.

### c. Implementación técnica en Python

El sistema se implementa utilizando programación orientada a objetos, estructuras enlazadas como

`Lista`, `DiccionarioEnlazado` y `ListaEnteros`, y evitando estructuras nativas. Se procesan archivos XML para generar matrices  $F[n,s]$  y  $F[n,t]$ , luego se transforman en  $Fp[n,s]$  y  $Fp[n,t]$ , y finalmente se agrupan para obtener  $Fr[n,s]$  y  $Fr[n,t]$ .

### d. Visualización y validación con Graphviz

La herramienta Graphviz permite representar gráficamente las matrices generadas, facilitando la validación visual del agrupamiento. Se generan grafos para cada tipo de matriz por campo agrícola, lo que permite identificar patrones, redundancias y oportunidades de optimización. Esta visualización mejora la comprensión técnica y la toma de decisiones.

### e. Estructuras enlazadas como alternativa a listas nativas

Una de las decisiones más relevantes en el diseño del sistema fue evitar el uso de listas nativas de Python (`list`) y optar por estructuras enlazadas personalizadas. Esta elección responde a la necesidad de controlar el recorrido, la asignación y la validación de datos en un entorno donde la precisión es crítica. Las clases `Lista`, `DiccionarioEnlazado` y `ListaEnteros` permiten encapsular la lógica de acceso y evitar errores comunes como el desempaquetado de valores `None`.

Además, estas estructuras facilitan la integración modular entre sensores, estaciones y matrices, manteniendo la compatibilidad sin sacrificar claridad. En contextos académicos, esta decisión también refuerza el aprendizaje de estructuras de datos fundamentales, como listas enlazadas simples y diccionarios enlazados, que son pilares en la formación de ingenieros en ciencias y sistemas.

f. Modularidad y ética académica en el desarrollo El proyecto se construyó bajo principios de modularidad, claridad y respeto por la lógica original. Cada módulo —desde la carga del XML hasta la generación de gráficas— fue diseñado para cumplir una función específica sin interferir con el resto del sistema. Esta separación de responsabilidades permite mantener el código limpio, escalable y fácil de mantener. Desde una perspectiva académica, el enfoque modular también promueve la ética en el desarrollo: evita duplicación de código, facilita la trazabilidad de errores y permite validar cada componente por separado. Esta práctica es especialmente valiosa en proyectos colaborativos, donde múltiples desarrolladores deben trabajar sobre una misma base sin romper compatibilidad.

g. Aplicaciones futuras y escalabilidad Aunque el sistema fue diseñado para un conjunto específico de sensores y estaciones, su arquitectura permite escalar fácilmente a nuevos tipos de sensores, campos agrícolas o incluso regiones geográficas. La estructura enlazada y la lógica de agrupamiento pueden adaptarse para incluir variables climáticas, tipos de cultivo o condiciones del suelo. Además, la visualización con Graphviz puede extenderse para representar redes de sensores, mapas de calor o flujos de datos en tiempo real. Esta capacidad de adaptación convierte al sistema en una herramienta potencial para instituciones agrícolas,

universidades o empresas que buscan soluciones inteligentes para la gestión de recursos.

h. Reflexión sobre el enfoque técnico adoptado El uso de programación orientada a objetos, estructuras enlazadas y visualización gráfica no solo responde a una necesidad técnica, sino que refleja una postura metodológica clara: resolver problemas complejos con herramientas precisas, evitando soluciones genéricas o dependientes de librerías externas. Esta decisión fortalece la comprensión del problema, permite un control total sobre el flujo de datos y promueve el desarrollo de habilidades fundamentales en ingeniería de software.

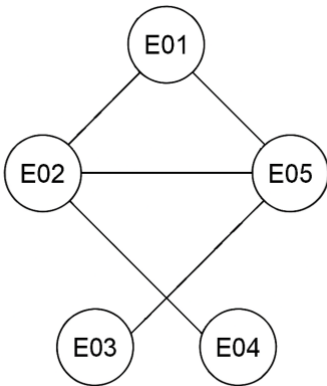


Figura 1. Grafo de agrupamiento de estaciones por patrón de cultivo.

Fuente: elaboración propia.

Tabla I.

Matriz reducida  $Fr[n,t]$  por campo agrícola

| ESTACIÓN | GRUPO |
|----------|-------|
| E01      | G1    |
| E02      | G2    |
| E03      | G3    |

Fuente: elaboración propia

La similitud entre dos estaciones se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$S_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^n (P_{ik} * P_{jk})}{n}$$

donde:

$S_{ij}$  = valor de similitud entre la estación  $i$  y la estación  $j$

$P_{ik}$  = valor binario del patrón en la posición  $k$  para la estación  $i$

$P_{jk}$  = valor binario del patrón en la posición  $k$  para la estación  $j$

$n$  = longitud total del patrón binario

## Conclusiones

El desarrollo de este sistema demuestra que es posible optimizar la infraestructura de recolección de datos en agricultura de precisión mediante estructuras enlazadas y visualización gráfica. La solución propuesta permite reducir el número de estaciones base, mantener la cobertura informativa y mejorar la eficiencia operativa.

Se concluye que el uso de programación orientada a objetos, junto con estructuras diseñadas por el estudiante, ofrece una alternativa robusta y escalable frente a problemas complejos. Además, la integración de Graphviz como herramienta de validación visual fortalece la transparencia y comprensión del sistema.

¿Podría esta metodología aplicarse a otros sectores que enfrentan problemas NP-Hard? ¿Qué mejoras podrían incorporarse para adaptar el sistema a condiciones climáticas cambiantes o cultivos específicos? Estas preguntas abren la puerta a futuras investigaciones y desarrollos.

## Referencias bibliográficas

- Date, C. J. (1991). *An Introduction to Database Systems*. Addison-Wesley Publishing Company, Inc.
- Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). *Precision agriculture—a worldwide overview*. *Computers and Electronics in Agriculture*, 36(2–3), 113–132.
- Russell, S., & Norvig, P. (2010). *Artificial Intelligence: A Modern Approach*. Prentice Hall.
- Gamma, E., Helm, R., Johnson, R., & Vlissides, J. (1994). *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*. Addison-Wesley.
- Knuth, D. E. (1997). *The Art of Computer Programming*. Addison-Wesley.