

---

# Capítulo 1

## Introducción

---

En este capítulo se expondrán los motivos que originaron el presente trabajo de tesis y se describirá de manera general la solución planteada a dicho problema. Para realizar lo anterior se comenzará con una breve introducción a la instrumentación agrícola, las estaciones meteorológicas y los distintos tipos de adquirentes de datos.

### 1.1. Antecedentes

Una necesidad vital de los países es generar un suministro estable y confiable de alimentos para su población; en particular cada año la población en México se incrementa en 1.1 millones de personas<sup>1</sup>. Con el propósito de satisfacer la creciente demanda de alimentos de esta población, la producción agrícola nacional debe ser mejorada e incrementada.

El sector agropecuario es uno de los más importantes en México, éste representa el 2.8% de las exportaciones<sup>2</sup> y en 2006 el 7.8% del PIB procedía de actividades agropecuarias<sup>3</sup>. Sin embargo, el atraso en la incorporación de nuevas tecnologías de siembra, cultivo y recolección han ocasionado un relativo estancamiento. México no presenta niveles uniformes de desarrollo agropecuario, las zonas productivas no dan abasto a la demanda interna del país, aunque favorecen las exportaciones.

Desde siempre un ingrediente esencial en la agricultura ha sido el clima; granizo, inundaciones y periodos de sequía, entre otros, tienen efectos adversos en la calidad y cantidad de las cosechas. El monitoreo y análisis constantes

---

<sup>1</sup> INEGI, Censos de Población y Vivienda, 1995 y 2005.

<sup>2</sup> Secretaría de Economía, México exporta, volumen 6 No. 2 Febrero de 2007.

<sup>3</sup> INEGI, Variación anual del Producto Interno Bruto (PIB) por gran división de las actividades económicas.

de las condiciones climáticas pueden ser utilizados por los productores para favorecer sus actividades y tomar acciones preventivas que minimicen el daño en su producción.

El crecimiento de los cultivos está principalmente determinado por las condiciones del suelo y del clima. El éxito o fracaso de los cultivos está íntimamente relacionado con las condiciones ambientales predominantes.

El clima tiene importancia en casi cada fase de la actividad agrícola, desde la preparación de la tierra hasta la cosecha y su almacenamiento. Incluso después de la producción, el clima continúa afectando el futuro de los productores, ya que un reporte de buenas o malas condiciones climáticas tiende a afectar el precio de los productos.

Un sólido conocimiento de los factores climáticos y el entendimiento de la interacción entre el clima y los procesos biológicos en las plantas, es esencial para un acercamiento científico basado en patrones de cultivo planeados, con miras en el mejoramiento de prácticas sobre el manejo del clima y la tierra. La ciencia que se encarga de adquirir y procesar este conocimiento enfocado en las prácticas agrícolas es la agrometeorología.

## 1.2. Agrometeorología

La agrometeorología, una abreviación de las palabras agricultura y meteorología, tiene como propósito poner la ciencia de la meteorología al servicio de la agricultura con diferentes propósitos, como lo son: ayudar con el uso moderado de la tierra, acelerar la producción de alimentos, evitar el irreversible abuso de los recursos del suelo, entre otros, y se basa en el estudio de las variables meteorológicas, climáticas e hidrológicas que son significativas para el proceso de la producción agrícola.

El campo de estudio de la agrometeorología se extiende desde la capa superficial del suelo hasta la zona donde las raíces de las plantas penetran. En la atmosfera en la capa de aire cerca de la superficie donde las cultivos crecen hasta niveles superiores de la atmosfera por donde semillas, esporas, polen e insectos se transportan.

El rol de la agrometeorología es de dos tipos: estratégico y táctico. Su rol estratégico se basa en asegurar un uso a largo plazo de los recursos naturales para el desarrollo de toda la diversidad de los cultivos, como en el proceso

de selección de los cultivos más convenientes para unas condiciones climáticas anticipadas. Su rol táctico está más enfocado en un periodo a corto plazo y en apoyar la toma de decisiones en sitio que directamente influyen en el crecimiento y desarrollo de los cultivos, por ejemplo, en ayudar al agricultor en hacer ajustes en las operaciones agrícolas diarias que tendrán a minimizar las pérdidas resultantes por condiciones adversas del tiempo. Empleada de manera correcta, la información agrometeorológica puede ayudar a los agricultores a llevar a cabo una agricultura más sustentable, de alta calidad y redituable con menores riesgos, costos, desechos contaminantes y menos invasiva.

La disponibilidad de una adecuada base de datos meteorológica y agrometeorológica es el mayor prerrequisito para estudiar y manejar los procesos agrícola y de producción forestal. Datos históricos y observaciones durante la presente estación de crecimiento, juegan un rol crítico en incrementar la certidumbre de los modelos de cultivo. Estos modelos tienen un gran potencial para responder interrogantes a problemas relacionados con la investigación, el manejo y los planes de acción para el mejoramiento de los cultivos y ayudan a proveer una mejor dirección para la resolución de problemas reales relacionados con la sustentabilidad agrícola, seguridad alimentaria, uso de recursos naturales y protección al ambiente.

Muchas operaciones agrícolas, servicios y estudios de investigación requieren información sobre el clima de manera diaria, semanal o con una base de diez días. Esta información puede ser generada a través de una red eficiente de estaciones agrometeorológicas, las cuales en este momento son muy pobres en la mayoría de los países. En aquellas partes donde hay una mayor disponibilidad de estaciones meteorológicas, éstas usualmente no siguen un patrón de las zonas agrícolas. Las estaciones instaladas y mantenidas por los departamentos meteorológicos en varios países están usualmente localizadas cerca de ciudades y aeropuertos, donde las observaciones registradas no son representativas para el panorama agrícola.

Sistemas de instrumentación son usados en aplicaciones agrícolas con el fin de obtener información de utilidad sobre las condiciones climáticas, estos sistemas deben proveer mediciones confiables que puedan asistir tanto en el proceso global de administración de los cultivos como en las operaciones agrícolas.

Los sistemas de instrumentación pueden ser utilizados en una variedad de aplicaciones<sup>4</sup>, incluidas:

---

<sup>4</sup> **Campbell Scientific**, *Agriculture: Measurement Instrumentation for Agriculture*, 2007.

- Estimación de la transpiración de los cultivos
- Medición de la humedad en suelos
- Calendarización de irrigación
- Monitoreo de la temperatura
- Manejo integral de plagas
- Aplicación de pesticidas y fertilizantes
- Predicción de nevadas

Las principales variables medidas por estos sistemas son: velocidad y dirección del viento, radiación solar, humedad relativa, precipitación pluvial y temperatura del aire y del suelo. Equipos utilizados en la actualidad como sistemas de medición para realizar el registro de estas variables son los *dataloggers*.

### 1.3. *Dataloggers*

Un *datalogger* (también *data logger* o *data recorder*) es un dispositivo electrónico que adquiere información proveniente de variables físicas o químicas. Esto a través de un sensor integrado o por medio de sensores o de instrumentos externos. Cada vez más frecuentemente, pero no enteramente, están basados en procesadores digitales (o computadoras). Generalmente son de tamaños pequeños, alimentados con baterías, portátiles y equipados con un microprocesador, memoria interna para el almacenamiento de la información y sensores. Algunos *dataloggers* interactúan con computadoras personales que utilizan algún tipo de software para configurarlos y ponerlos en funcionamiento, además de visualizar y analizar la información recolectada por éste. Otros tienen un dispositivo de interfaz directa con el usuario (teclados, pantallas de cristal líquido, etc.) y pueden ser utilizados como dispositivos *stand-alone*.

Los tipos de *dataloggers* varían desde los de propósito general, utilizados para un amplio rango de aplicaciones, hasta aquellos diseñados para una aplicación en específico. Los *dataloggers* electrónicos han remplazado en muchas aplicaciones a los registradores mecánicos.

Uno de los beneficios primarios de los *dataloggers* es su capacidad para coleccionar información las 24 horas del día. Una vez activados, los *dataloggers* son instalados y dejados sin supervisión para medir y guardar datos durante un gran período de tiempo.

### 1.3.1. Diferencia entre *datalogging* y adquisición de datos

Los términos *datalogging* y adquisición de datos son frecuentemente intercambiados. Sin embargo, en un contexto histórico son completamente distintos. Un *datalogger* es un sistema de adquisición de datos, pero un sistema de adquisición de datos no es necesariamente un *datalogger*.

Los *dataloggers* típicamente tienen menores tasas de muestreo. Una tasa de muestreo de 1 [Hz] puede ser considerada muy rápida para un *datalogger*, sin embargo ésta es muy lenta para un sistema de adquisición.

Los *dataloggers* son implícitamente dispositivos *stand-alone*, mientras que los sistemas de adquisición de datos permanecen ligados a una computadora para adquirir datos. Este aspecto de *stand-alone* de los *dataloggers* implica poseer una memoria integrada, que es usada para almacenar la información obtenida. Algunas veces esta memoria debe tener el tamaño suficiente para almacenar información sin supervisión por días, meses o incluso años.

Los *dataloggers* varían desde dispositivos de un solo canal a complejos instrumentos con múltiples canales. Típicamente, la simpleza del dispositivo implica una menor flexibilidad de uso.

Dado su extenso tiempo de grabado de datos, una característica típica de los *dataloggers* es poseer un mecanismo para el estampado de la información con su respectiva hora y fecha de adquisición. Para ello, dichos *dataloggers* emplean generalmente relojes en tiempo real integrados o receptores de posicionamiento global (GPS).

Por la naturaleza de su operación, independiente de supervisión y remota, muchas aplicaciones requieren que los *dataloggers* operen con corriente directa, proveniente de baterías o de paneles solares. Esto también obliga a que el diseño de los *dataloggers* asegure un consumo energético eficiente. La autonomía de un *datalogger* depende básicamente de la energía disponible para su operación así como de la cantidad de memoria disponible para guardar datos.

Adicionalmente, los *dataloggers* deben de ser dispositivos extremadamente confiables, dado que deben de operar por largos periodos sin detenerse, con poca o carente supervisión humana, y pueden estar instalados en un ambiente hostil o en locaciones remotas. Los *dataloggers* son diseñados para ser inmunes a los problemas que pueden afectar a una computadora de propósito

general, realizando la misma función, cuyos fallos pueden tener como origen los programas en ejecución o la inestabilidad del sistema operativo.

Si bien ciertos modelos de *dataloggers*, debido a su aplicación, no tienen la necesidad de conectarse con otros dispositivos, la mayoría son sistemas que debido al volumen de información que adquieren requieren de algún medio de conexión para el vaciado de ésta y para la configuración del *datalogger*. La mayoría de los *dataloggers* poseen cuando menos un protocolo para realizar conexiones alámbricas y pueden integrar protocolos de conexión inalámbrico, dependiendo del alcance de esta conexión un *datalogger* podría transmitir la información adquirida en tiempo real y sólo utilizar su memoria interna para respaldar la información en caso de una falla de conexión.

## 1.4. Situación de la agrometeorología en México

En México, el organismo encargado de adquirir, analizar y proporcionar la información meteorológica que se origina de manera nacional y local, es el Servicio Meteorológico Nacional (SMN). Este depende de la Comisión Nacional del Agua (CNA), la cual forma parte de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT).

Los objetivos principales del SMN se concentran en la vigilancia continua de las condiciones atmosféricas para identificar los fenómenos meteorológicos que pueden afectar las distintas actividades económicas y originar la pérdida de vidas humanas.

La infraestructura con la que cuenta el SMN para realizar estos objetivos son los siguientes:

- Una red de estaciones meteorológicas integrada por 72 observatorios.
- Una red de 15 estaciones de radio sondeo, cuya función es la observación de las capas altas de la atmósfera.
- Una red de 12 radares meteorológicos distribuidos en el Territorio Nacional. Los cuales permiten detectar la evolución de sistemas nubosos.

Adicionalmente en el Territorio Nacional opera una red de 171 estaciones meteorológicas automáticas (EMAs) las cuales están administradas por distintas dependencias. Estas estaciones meteorológicas automáticas están conformadas por un grupo de sensores que registran y transmiten su información

de forma automática de diversas áreas que se consideran estratégicas. Las variables ambientales medidas por estas estaciones son: velocidad del viento, dirección del viento, presión atmosférica, temperatura ambiente, humedad relativa, radiación solar y precipitación. El área representativa de las estaciones es de 5 [km] de radio aproximadamente en terreno plano.

Si bien el SMN ha hecho una excelente labor realizando notificaciones a las autoridades de protección civil, que dan origen a acciones preventivas en casos de fenómenos naturales que puedan poner en peligro a la población, la red de estaciones con la que cuenta no tiene la capacidad ni el propósito de servir como una red de estaciones en aplicaciones agrometeorológicas, debido a que:

- La red existente no cuenta con la cobertura necesaria.
- La ubicación de las estaciones no permite tener datos significativos de las áreas agrícolas del país.
- Los sensores de las estaciones no son suficientes para los fines agrícolas, ya que, por ejemplo, no cuentan con sensores para medir la temperatura del suelo.

## **1.5. Planteamiento del problema y propuesta de solución**

México tienen la necesidad de construir una red de estaciones agrometeorológicas que mediante el análisis de su información colectada contribuyan al mejoramiento y desarrollo de la actividad agrícola, ganadera y forestal del país. Es por ello, que en este tema de tesis se propone el desarrollo de un sistema de instrumentación que tomará la forma de una estación meteorológica agrícola simple.

Este sistema de instrumentación constará de dos partes:

- Un *datalogger* y
- Un programa de cómputo

El *datalogger* será el encargado de tomar las mediciones de las variables agrícolas en sitio, mientras que el programa de cómputo servirá como la interfaz entre éste y una computadora, donde se coleccionarán y manejarán los datos para un análisis en alguna otra herramienta de software. Las variables meteorológicas elegidas para la adquisición serán temperatura ambiente y precipitación pluvial, dado que son las más importantes para los fines que se persiguen y darán una mayor base de conocimiento para la integración de otros sensores.

Las características del *datalogger* le deben permitir realizar su función de acuerdo a las condiciones que el sitio de adquisición le impone y que son originados por los largos períodos de operación sin supervisión humana. Estas son una operación con base en baterías, gran estabilidad del sistema, bajo consumo de energía y memoria suficiente para almacenar un gran número de eventos. Adicionalmente, la operación del *datalogger* deberá ser sencilla y tener la facilidad de poder ser puesto en operación sin una conexión con una PC.

Dado que el programa será una interfaz entre el *datalogger* y el usuario, éste será el encargado de recibir la información colectada por el *datalogger* y el medio para la configuración de éste. Adicionalmente, dado que el programa no pretende dentro de sus funciones integrar el análisis de los datos adquiridos, éste deberá de exportar la información recibida para ser manejada por algún programa de análisis.

Por último, dado que se pretende sólo realizar la base de lo que puede constituir un proyecto con mayores alcances, se buscará en este proyecto dejar bases sólidas para su mejoramiento e integración tanto de un mayor número de características como de sensores.

## 1.6. Visión general del sistema

Aquí profundizaremos en la propuesta de solución planteada, además que se señalarán las generalidades necesarias para el diseño y desarrollo del sistema de instrumentación.

### 1.6.1. El *datalogger*

Partiendo de la función del *datalogger* dentro del sistema de instrumentación, se han considerado tres partes básicas que compondrán al diseño.

- La adquisición de datos
- El guardado de datos
- La comunicación con una PC

La adquisición de datos comprende la caracterización de los sensores, el proceso de acondicionamiento de sus señales y los instrumentos que se usarán para representar estas señales de manera digital.

De manera básica hay dos tipos de adquisición de señales, que dependen de la naturaleza de los sensores y requieren un tratamiento y medio de adquisición distinto. Si el sensor tiene como salida una señal continua en el tiempo, la adquisición de esta señal deberá realizarse a través de un convertidor analógico digital, ejemplos de estos tipos de sensores son los *resistance thermal detectors* (RTD's), los termistores, los termopares, los sensores de humedad relativa, etc. La teoría necesaria para realizar la adquisición y acondicionamiento de esta señal comprende temas como: muestreo de señales, efecto *aliasing*, filtros *antialiasing*, amplificación de señales, operación de un convertidor analógico digital, etc.

Existen otros tipos de sensores que tiene una salida con base en pulsos o señales que pueden ser acondicionadas de esta manera, estos tipo de sensores básicamente denotan algún tipo de frecuencia de un evento y su adquisición se realiza a través del conteo de pulsos, ejemplos de este tipo de sensores son medidores de velocidad del viento (anemómetros), pluviómetros de volcado, etc. La teoría necesaria para desarrollar el acondicionamiento de estas señales abarca, comparadores de tensión, filtros, efecto rebote, etc.

El *datalogger* es un instrumento que debe de adquirir estas dos clases de señales, es por ello que ambos procesos de adquisición deberán de ser implementados en su desarrollo.

La parte de guardado de los datos colectados por el *datalogger* comprende tanto la selección del tipo de memoria a utilizar como el tamaño que tendrá ésta. Lo anterior impacta de manera directa en la autonomía del *datalogger*. Muy poca capacidad de memoria y el *datalogger* no podrá ser usado para adquirir datos por un tiempo prolongado. Demasiada capacidad de ésta hará que el dispositivo consuma más energía y sólo pueda operar por un corto periodo de tiempo. Por ello es necesario realizar una estimación de las necesidades de

almacenamiento que el *datalogger* va a requerir en su aplicación, para asegurar una implementación óptima de la capacidad de almacenamiento. De igual forma el tipo de memoria que se utilizará y que es más conveniente para la aplicación. Un conocimiento de distintos tipos de memoria y su funcionamiento es necesario para el desarrollo de esta parte.

Finalmente, la parte de transmisión de datos a una PC comprende el desarrollo de los protocolos de comunicación entre el *datalogger* y una PC. Lo anterior requiere de un conocimiento de estos protocolos además de la forma de implementarlos.

### 1.6.2. El programa en la PC

Las funciones del programa de la PC son los siguientes:

- Recibir los datos
- Guardar los datos recibidos
- Exportar los datos

El desarrollo del programa debe comenzar por encontrar las herramientas adecuadas para su programación. El único prerrequisito indispensable de esta herramienta es que debe permitir un rápido desarrollo de las funciones y características que el programa requiere.

Una vez escogidas las herramientas de desarrollo es necesario saber cómo implementar las funciones arriba citadas.

En el siguiente capítulo se describirán las generalidades de este proyecto y se tratará de manera breve los temas de teoría que se consideraron necesarios para entender el desarrollo del proyecto.