

Desarrollo e implementación de sistema de control de calidad de compostaje

por

Víctor Gallardo Grandón

Patrocinante: Pedro Pinacho Davidson

Memoria presentada

para la obtención del título de

INGENIERO CIVIL INFORMÁTICO

Departamento de Ingeniería Informática y Ciencias de la Computación

de la

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN



Concepción, Chile

Noviembre, 2018

Resumen	3
1. Introducción.	5
1.1 Objetivo general	7
1.2 Objetivos específicos	7
2. Trabajo relacionado y Metodología	8
2.1 Trabajo relacionado	8
3. Análisis e investigación	9
3.1 Arduino	9
3.2 Raspberry	10
3.3 Base de Datos:	12
3.4 Decisiones de desarrollo	13
3.5 Proceso de desarrollo	14
4. Sistema y producto desarrollado	16
4.1 Herramientas	16
4.1.1 Protoboard o placa de pruebas	16
4.1.2 Arduino Uno:	17
4.1.3 Sensor de temperatura Ds18b20:	17
4.1.4 Sensor de humedad	18
4.1.5 Pantalla LCD	18
4.1.6 Módulo lector de tarjetas SD.	19
4.1.7 Reloj de tiempo real (RTC)	19
4.1.8 Batería	20
5. Prototipo inicial	21
6. Prototipo final	22
7. Sistema de apoyo para generar reportes:	24
7.1 Diagrama de casos de uso:	24
7.2 Modelo de Datos:	25
7.3 Interfaz Gráfica del Software:	26
7.4 Generar informe	27
7.5 Generar gráfico	29
8. Experimentos y resultados	30
9. Conclusiones	34
10. Trabajo futuro	35
11. Bibliografía	36

12.1 Manual de usuario:	38
12.1.1 La sonda	38
12.1.2 Modo de uso: Lectura de datos	38
12.1.3 Lectura y guardado de datos	39
12.1.4 Aplicación web	40
13. Documentación de casos de uso y capturas	41
13.1 Autenticación de usuarios	45
13.2 Ingreso de terrenos	46
13.3 Ingreso de datos leídos por la sonda	47



Resumen

La agricultura orgánica es un sistema holístico de producción silvoagropecuaria basado en prácticas de manejo ecológico, cuyo objetivo principal es alcanzar una productividad sostenida en base a la conservación y/o recuperación de los recursos naturales de acuerdo a lo establecido en la Norma chilena de Producción Orgánica (Ley 20.089, Gobierno de Chile).

En la actualidad los mercados exigen productos de alta calidad, que recuperen los recursos naturales y presenten mayor grado de inocuidad en comparación con los convencionales, por lo que la agricultura orgánica se convierte en una alternativa más rentable que la convencional y es cada vez más común en el mundo [1]. Esta tendencia va en aumento. En 1997 las ventas mundiales de productos orgánicos llegaron a 11 mil millones de dólares, mientras que en 2007 alcanzaron los 46 mil millones de dólares y la superficie cultivada bajo producción orgánica en el mundo aumentó desde las 32.2 millones de hectáreas hasta las 43.1 millones de hectáreas en el 2013 [2].

El uso de biofertilizantes o abonos orgánicos es clave para lograr la sostenibilidad del sistema agrícola, ya que mejora sus características físicas, químicas y biológicas [3]. La incorporación de materia orgánica al suelo tiene un efecto positivo en su agregación, incrementa la infiltración, la capacidad de retención de agua y de intercambio catiónico, y la disponibilidad de nutrientes, como también aumenta la biomasa microbiana del suelo, entre otras características [4]. En la producción orgánica es una práctica fundamental el uso de compost, que es el producto resultante de la descomposición aeróbica de materias primas orgánicas bajo condiciones controladas, alcanzando temperaturas que permiten su higienización. Este producto está constituido principalmente por materia orgánica estabilizada y microorganismos benéficos, donde no se reconoce su origen, es libre de patógenos y semillas viables de plantas y puede ser aplicado al suelo mejorando sus características físicas, químicas y biológicas [5].

En Chile, todo compost comercializado debe contar con una ficha técnica, que especifique varios factores como: el método de compostaje utilizado, el origen de la materia prima, conductividad eléctrica, pH, y la temperatura alcanzada durante el proceso.

Por ello, el compost debe ser monitoreado constantemente, en su proceso de oxidación, ya que los rangos de temperatura alcanzados (que dependen de la humedad de la mezcla de materias primas) son relevantes para alcanzar un producto de buena calidad y que cumpla con los requisitos de la norma de elaboración de compost.

Actualmente estas mediciones se realizan en papel y toman más tiempo del que debiera poder ingresarlas a un ordenador y mantener un control sobre el proceso de compostaje.

Por lo anterior se propone la creación de una sonda funcional capaz de medir los datos de temperatura y humedad, además de un software complementario que ayude a generar reportes sobre estos procesos, esto con el fin de hacer posible la producción autónoma del abono para pequeños y medianos agricultores.



1. Introducción.

Según la norma chilena de calidad de compost NCh2880, el país actualmente presenta un incremento notable en el desarrollo de la actividad del compostaje como una alternativa a la gestión de residuos orgánicos [6].

Las materias utilizadas para la elaboración del compost proviene de residuos orgánicos de origen vegetal y animal y de suelo de buena calidad que provee de microorganismos que descomponen los residuos orgánicos [7], el cual es fundamental en la producción orgánica, como en la recuperación de suelos degradados ya que es utilizado, como mejorador de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

El compostaje se presenta como una opción de mayor viabilidad ambiental y económica que permite el reciclaje de residuos orgánicos, minimizando así la disposición de ésta en los rellenos sanitarios, junto con la obtención de un producto de calidad y con valor agregado.

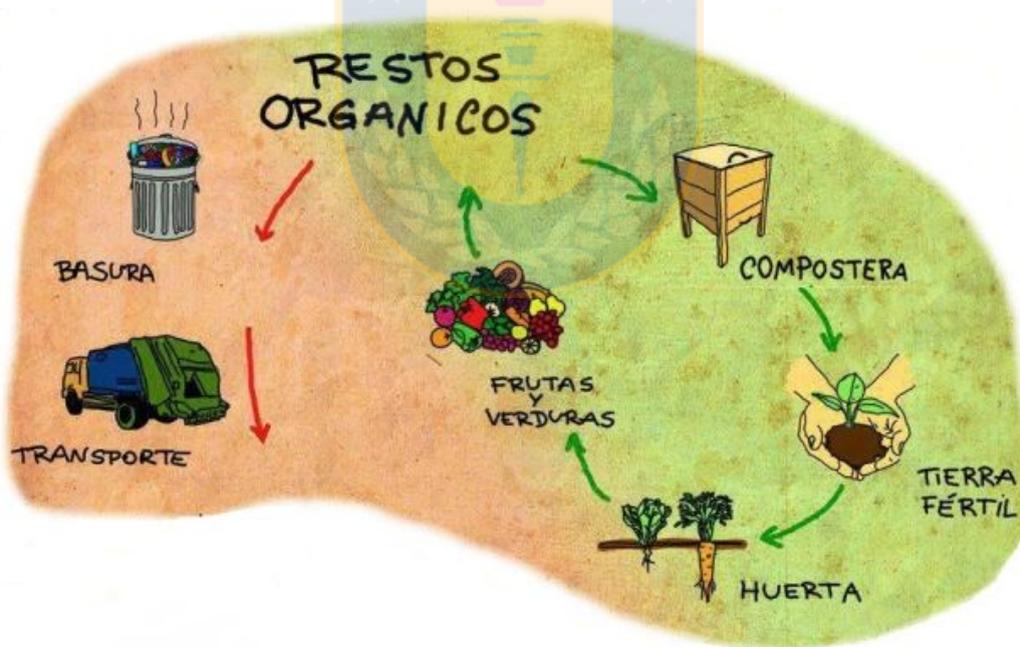


Figura 1. Técnica de Compostaje.

El proceso de compostaje tiene 4 etapas asociadas a la temperatura, estas son:

- **Etapa Mesófila:** La temperatura aumenta hasta los 40°C gracias a la actividad de microorganismos que están dentro del compost. En esta fase, tanto la humedad como la temperatura son importante para definir la calidad final de la pila de compost.
- **Etapa Termófila:** La temperatura aumenta aún más que en la fase anterior, llegando a alcanzar valores entre 40 y 70 °C, es aquí donde mueren todos los patógenos y las semillas de malezas y se multiplican los microorganismos benéficos que liberan antibióticos y promotores de crecimiento vegetal.
- **Etapa Maduración:** La temperatura de la pila disminuye continuamente hasta asemejarse a la del ambiente y se produce la madurez del compost [8], en esta fase el compost se mantiene a temperatura ambiente y es colonizada por organismos de mayor tamaño como insectos y lombrices-vegetal, en esta etapa aparece el típico olor a tierra húmeda, propio de los ácidos húmicos

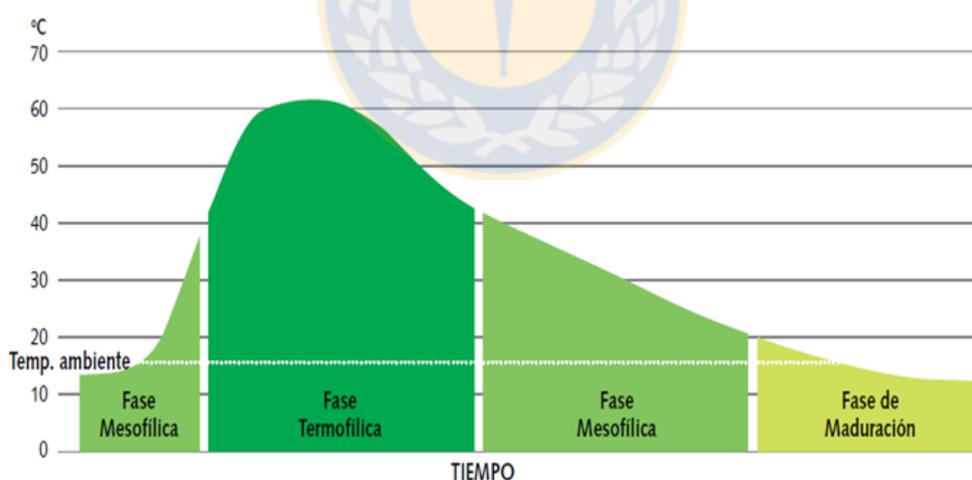


Figura 2. Etapas del compostaje asociadas a la Temperatura.

En el proceso de compostaje también es importante que la humedad alcance niveles cercanos a los 60%, si el contenido en humedad es muy alto el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir se produciría una fermentación de la materia

orgánica. Si la humedad es excesivamente baja disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento.

Actualmente estas mediciones se realizan en papel y toman más tiempo del que debiera poder ingresarlas a un ordenador y mantener un control sobre el proceso de compostaje.

Este proyecto de memoria de título propone una solución a la problemática de la medición de la humedad y temperatura del proceso de compostaje, proporcionando una lanza física capaz de medir estas dos variables en tiempo real, además del apoyo de un software que realiza reportes sobre el estado de estas variables durante el proceso de compostaje.

Para esto se usarán componentes electrónicos y una base de datos que guarde la información obtenida por estos dispositivos.

Bajo estas premisas este proyecto de memoria de título tiene como objetivos:

1.1 Objetivo general

Elaboración de una herramienta de medición de que permita supervisar el proceso de compostaje, a través de un software que registre y genere informes sobre los datos recolectados.

1.2 Objetivos específicos

- Creación de un dispositivo capaz de medir humedad y temperatura, en terreno y tiempo real.
- Definir aspectos de diseño de la sonda con el fin de obtener un prototipo modular.
- Definir la factibilidad de ofrecer conexión remota a los componentes.
- Creación de un software que sea capaz de procesar y realizar informes sobre los datos obtenidos por la sonda.

2. Trabajo relacionado y Metodología

2.1 Trabajo relacionado

El proyecto abordado en esta memoria de título cuenta con un trabajo realizado previamente por el alumno Manaf Alajrad Akil en el instituto profesional Santo Tomás, este trabajo consiste en la primera aproximación a la sonda que realiza las mediciones, la primera sonda es capaz de medir la temperatura, pero no mide correctamente la humedad pues entrega un valor entre 0 y 1054 de difícil interpretación para la persona que realiza la medición, además no es capaz de almacenar los datos obtenidos ni de obtener la fecha en la que fueron realizadas las mediciones, además no cuenta con software asociado para realizar reportes. Aun así el proyecto anterior fue una buena base sobre la cual construir el proyecto actual [9].



3. Análisis e investigación

Para desarrollar este trabajo fue necesario investigar sobre las tecnologías disponibles y las ventajas/desventajas que estas ofrecen, las tecnologías estudiadas fueron:

- Arduino®
- Raspberry®

3.1 Arduino

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

Arduino nos proporciona un software consistente en un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje de programación de arduino y el bootloader ejecutado en la placa. La principal característica del software de programación y del lenguaje de programación es su sencillez y facilidad de uso [10].

Al ser solo un microcontrolador Arduino está más limitado que su contraparte Raspberry, pues no cuenta con sistema operativo propio o memoria para almacenar archivos, en cambio la comunidad y la facilidad para conseguir componentes (sobre todo en Concepción) hacen a Arduino una opción viable para el desarrollo de este proyecto.

3.2 Raspberry

Raspberry es un ordenador de placa reducida, ordenador de placa única u ordenador de placa simple (SBC) desarrollado en el Reino Unido por la Fundación Raspberry Pi, soporta varios componentes necesarios en un ordenador común.

Al ser un ordenador de placa única (cuenta con sistema operativo Linux) se puede realizar una variedad de acciones tales como: almacenar la base de datos de forma local en la misma placa, conectarla a internet directamente sin la necesidad de componentes externos, guardar archivos de distinto tipo, etc.

Esta placa y los componentes externos son accesibles en costo, pero en cuanto a oferta, específicamente en la ciudad de Concepción, es más difícil conseguir componentes externos.

En cuanto a la comunidad, Raspberry cuenta con una comunidad grande y activa, pero no tan grande como su contraparte Arduino.



La siguiente comparación realizada fue hecha en base a costos y especificaciones de hardware desplegadas en la tabla a continuación:

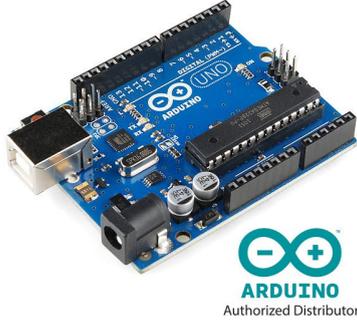
	 <p>Arduino Uno.</p>	 <p>Raspberry Pi modelo B.</p>
Precio en dólares	\$30	\$35
Tamaño	7.6 x 1.9 x 6.4 cm	8.6 x 5.4 x 1.7 cm
Memoria	0.002 MB	512 MB
Velocidad de reloj	16 MHz	700 MHz
On Board Network	Ninguna	10/100 wired Ethernet Rj45
Multitarea	No	Si
Voltaje de entrada	7 a 12 V	5 V
Memoria flash	32 KB	Tarjeta SD (2 a 16 GB)
Puertos USB	Uno	Dos
Sistema Operativo	Ninguno	Distribuciones de Linux
Rendimiento Eléctrico	26 horas continuas	2.5 horas continuas
Entorno de desarrollo integrado (IDE)	Arduino	Scratch, IDLE, cualquiera con soporte Linux.

Tabla 1. Comparación entre Arduino y Raspberry.

Otro criterio a considerar al momento de seleccionar una de las dos tecnologías fue el uso de corriente eléctrica, pues se contempla un trabajo de campo en donde se deben usar baterías para suministrar corriente. Arduino por su parte consume unos 46 mA. Una batería promedio tiene una capacidad de entre 1000 a 1200 mAh por lo tanto, arduino alimentado a través de baterías puede obtener hasta 26 horas de funcionamiento continuado. Por otra parte Raspberry consume unos 480 mA, considerando la misma capacidad de una batería Raspberry solamente puede ofrecer 2.5 horas de funcionamiento continuado.

Analizando la información anterior, la decisión fue realizar el proyecto de memoria usando la tecnología de Arduino pues los precios, la facilidad para encontrar los componentes externos, la comunidad y la duración de la batería en Arduino son más adecuadas para desarrollar un proyecto de este tipo.

3.3 Base de Datos:

Al ser un proyecto que no cuenta con grandes recursos, se optó por escoger una base de datos y un servidor local.

El gestor de base de datos escogido para realizar el proyecto de memoria de título fue MySQL, las razones de esta selección son:

1. Es multiplataforma y de fácil instalación.
2. Es escalable, si el proyecto crece no representa ningún problema para este gestor de base de datos.
3. Gratuito.
4. Su amplia comunidad es una gran herramienta, pues se encuentra una gran cantidad de material a disposición para el aprendizaje.

Por las razones mencionadas anteriormente y porque cumple con los requisitos básicos para este proyecto (gratuita y escalable) el proyecto se montó en un servidor local que utiliza este gestor.

3.4 Decisiones de desarrollo

La primera decisión para empezar a desarrollar el proyecto fue qué tipo de aplicación sería (móvil, web o escritorio).

La opción de realizar la aplicación para dispositivos móviles fue descartada en primera instancia por la poca conectividad para telefonía móvil que hay en las zonas rurales de Chillán y la complejidad que supone el uso de esta tecnología para un grupo etario alto.

La segunda opción estudiada fue realizar una aplicación para escritorio, esta opción fue descartada pues está totalmente vinculado al sistema operativo, ocupa espacio en disco y en caso de no contar con el equipo donde se encuentra instalada dejamos de tener acceso a la aplicación.

Finalmente se optó por desarrollar el proyecto como una aplicación web, ya que aunque la conectividad móvil sea deficiente, se cuenta con computadores conectados a internet en la mayoría de los casos por los siguientes criterios:

1. Si la aplicación escala esta se puede subir a un servidor dejando de ocupar espacio en disco.
2. Compatibilidad, cualquier navegador actualizado basta para poder utilizarla.
3. Bajo consumo de recursos.
4. Fácil instalación, la aplicación puede ser instalada en cualquier computador pues actualmente usa un servidor local, por lo tanto basta copiar los archivos a un computador para poder usarla.

Si bien una aplicación web ofrece menos funcionalidades que una de escritorio, es suficiente para el alcance de este proyecto.

3.5 Proceso de desarrollo

Para el desarrollo del proyecto se opta por una metodología de prototipado [11] rápido, este proceso se basa en ir construyendo el modelo final capa a capa hasta obtener el producto final, se basa en el siguiente diagrama:

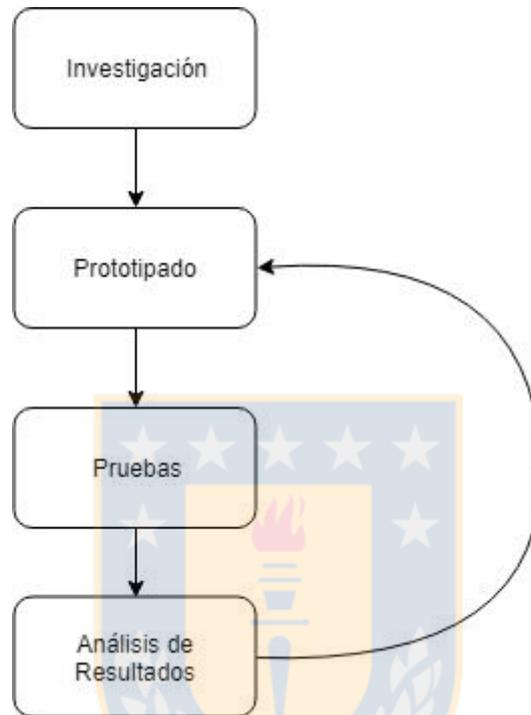


Figura 3. Diagrama prototipado rápido.

Primero se realiza una investigación previa para ver el alcance del proyecto, luego se realiza un prototipado rápido que cumpla con los requisitos básicos y sea funcional, posteriormente se realizan pruebas de este prototipo, una vez realizadas las pruebas se procede a analizar los resultados y a realizar cualquier ajuste que sea necesario al prototipo para corregir errores, una vez terminada la etapa de correcciones se vuelve a repetir la etapa de prototipado agregando una funcionalidad extra repitiendo los pasos anteriores.

Para empezar a desarrollar el proyecto, se realizó una investigación de las tecnologías líderes en este tipo de proyectos (Arduino y Raspberry) analizando su costo , accesibilidad y duración con baterías . Luego se confeccionó un prototipo el cual entregó el formato de los datos, esto dio las bases de cómo debería ser la aplicación web para poder manejar

correctamente los datos obtenidos por las sonda, una vez finalizado este proceso se realizaron pruebas prácticas, estos resultados permiten mejorar el prototipo y volver a iterar.



4. Sistema y producto desarrollado

La sonda desarrollada es una suma de varios sensores, sus características y funcionamiento se describen a continuación:

4.1 Herramientas

4.1.1 Protoboard o placa de pruebas

La placa de pruebas es un tablero con orificios que se encuentran conectados eléctricamente entre sí de manera interna, en esta se pueden insertar cables y componentes electrónicos para el armado y prototipado de circuitos electrónicos hay en diversos tamaños y formas, para el proyecto se usó específicamente una protoboard de 830 puntos, pues su tamaño es el ideal para la cantidad de conexiones que debe realizarse. [12].

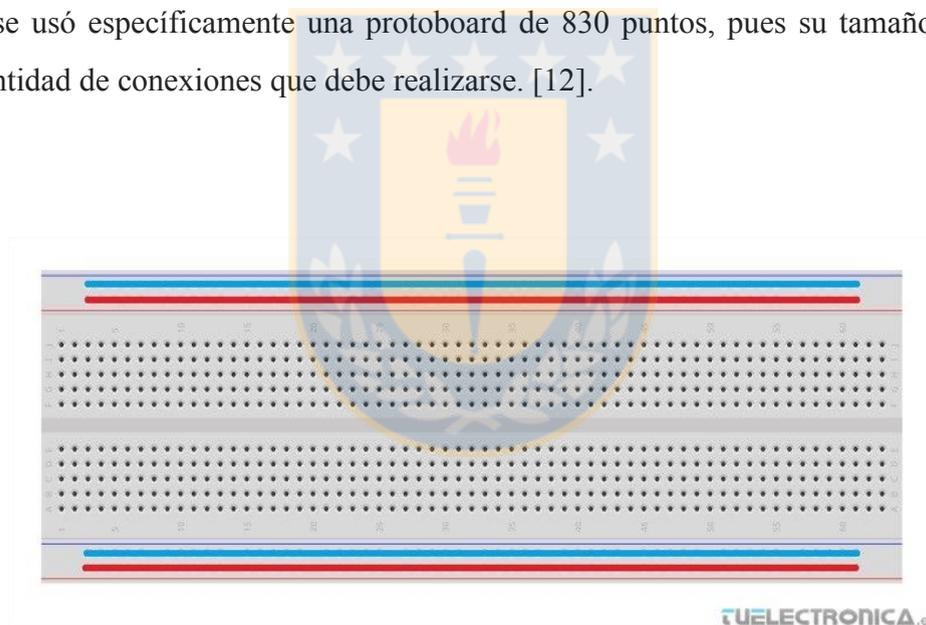


Figura 4. Protoboard.

4.1.2 Arduino Uno:

El Arduino es una plataforma computacional física open-source basada en una simple tarjeta de I/O y un entorno de desarrollo que implementa el lenguaje Processing/Wiring. El Arduino Uno R3 puede ser utilizado para desarrollar objetos interactivos o puede ser conectado a software de tu computadora (por ejemplo, Flash, Processing, MaxMSP) [13].



Figura 5. Arduino Uno.

4.1.3 Sensor de temperatura Ds18b20:

Es el sensor encargado de tomar las muestras de temperatura del compost, es un sensor capaz de medir temperaturas que van desde los $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $125\text{ }^{\circ}\text{C}$ con un margen de error de $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ para temperaturas que están entre $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $85\text{ }^{\circ}\text{C}$ y un margen de error de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ para temperaturas en otro rango, para conectar este sensor se requiere una resistencia eléctrica de $4.7\text{ k}\Omega$, un cable de datos y una conexión eléctrica de 5 V [14].

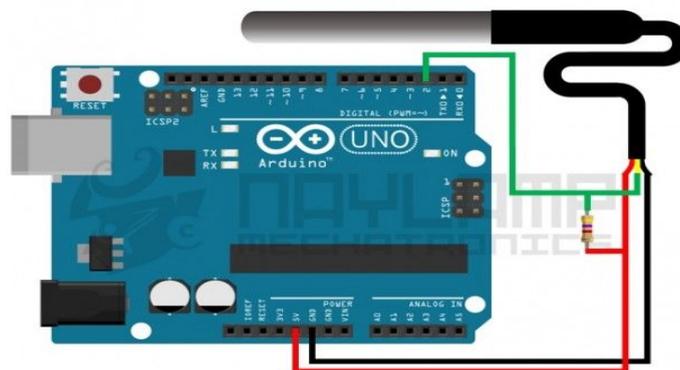


Figura 6. Esquema de conexión sensor Ds18b20.

4.1.4 Sensor de humedad

El sensor de humedad YL-69 puede medir la cantidad de humedad presente en el suelo que lo rodea empleando dos electrodos que pasan corriente a través del suelo, y lee la resistencia. Mayor presencia de agua hace que la tierra conduzca electricidad más fácil (Menor resistencia), mientras que un suelo seco es un conductor pobre de la electricidad (Mayor resistencia) [15].

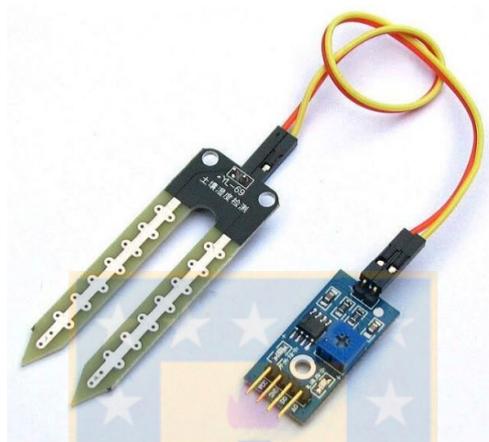


Figura 7. Sensor de Humedad YL-69

4.1.5 Pantalla LCD

La pantalla usada en el proyecto es una pantalla LCD (Liquid Crystal Display), es una pantalla que permite mostrar hasta 32 caracteres (16 en cada línea) fue implementada junto a un módulo I2C, este módulo permite reducir de forma considerable el número de pin que utiliza la pantalla para conectarse al microcontrolador arduino.

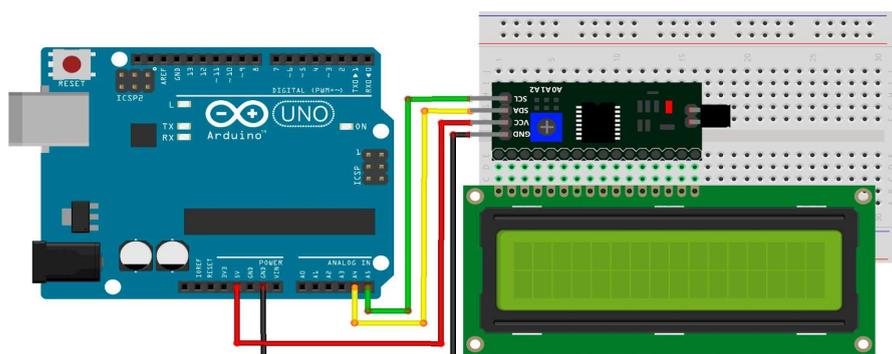


Figura 8. Esquema de conexión LCD junto a módulo I2C.

4.1.6 Módulo lector de tarjetas SD.

Al ser solamente un microcontrolador Arduino no cuenta con la capacidad de guardar datos pues su memoria está limitada a tan solo 32KB, es por esto que se usó un módulo de lector de tarjetas sd externo para almacenar los datos, este módulo nos permite insertar una memoria Micro SD que son las más comunes en el mercado, el módulo se puede alimentar con 3.3V o 5V usando los pines respectivos.



Figura 9. Esquema de conexión módulo SD.

4.1.7 Reloj de tiempo real (RTC)

La base del proyecto exige que las medidas de temperatura y humedad se registren con hora y fecha, para esto fue necesaria la implementación de un reloj de tiempo real, este cuenta con una pila integrada para poder mantener la fecha y la hora aun cuando el microcontrolador Arduino no está conectado directamente a corriente.



Figura 10. Reloj RTC

4.1.8 Batería

La sonda fue pensada para ser usada en terreno midiendo pilas de compost por lo tanto no debe depender de una fuente de corriente fija, para esto se resolvió usar una batería de 9V con su respectivo adaptador para alimentar el microcontrolador.



Figura 11. Batería y Adaptador.



5. Prototipo inicial

El prototipo inicial consistió en la combinación de todos los sensores anteriormente mencionados, la finalidad de este prototipo fue probar la funcionalidad de los componentes y su independencia a la corriente eléctrica.

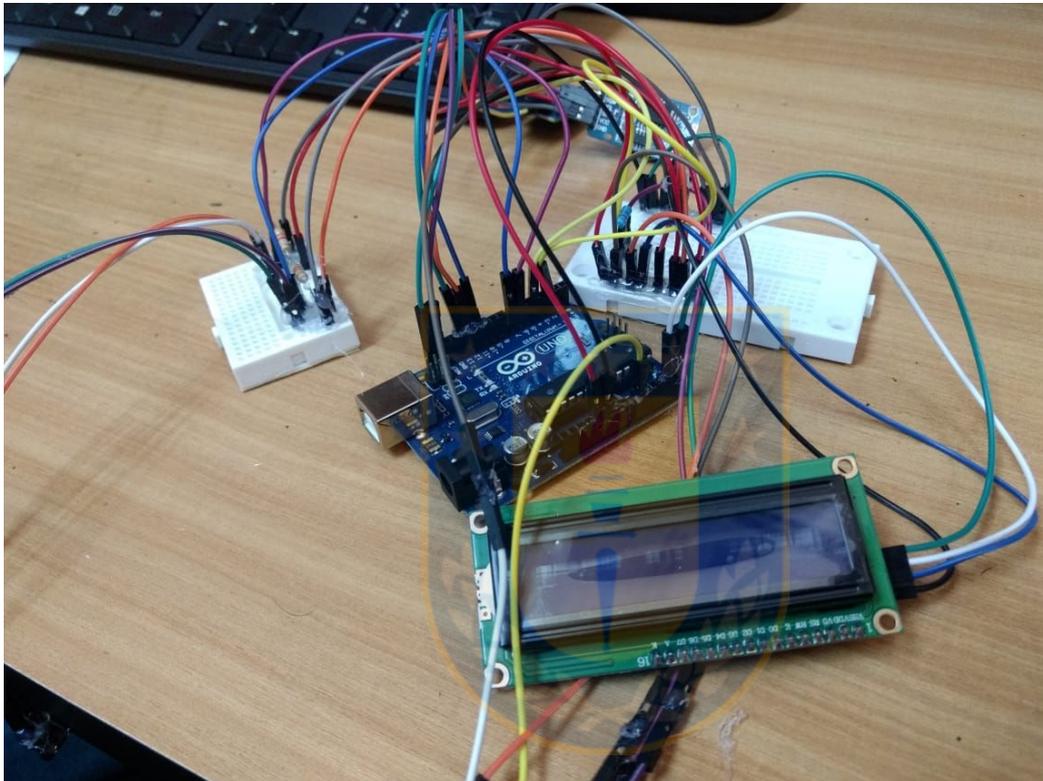


Figura 12. Prototipo inicial sin lanza.

Al estar en una primera etapa, el prototipo aún no contaba con un medio físico para penetrar el compost, aun así permitió obtener tener una buena aproximación de los resultados entregados por los sensores y los ajustes que debieron realizarse antes de pasar a un prototipo final.

6. Prototipo final

El prototipo final corresponde a los elementos anteriores dentro de una lanza de PVC, esto le otorga la capacidad de penetrar la tierra y realizar mediciones controladas por el usuario, cuenta con dos botones, uno para iniciar la medición de un compost y otra para finalizar, además de una tarjeta SD ubicada en la parte inferior para una fácil extracción e instalación.

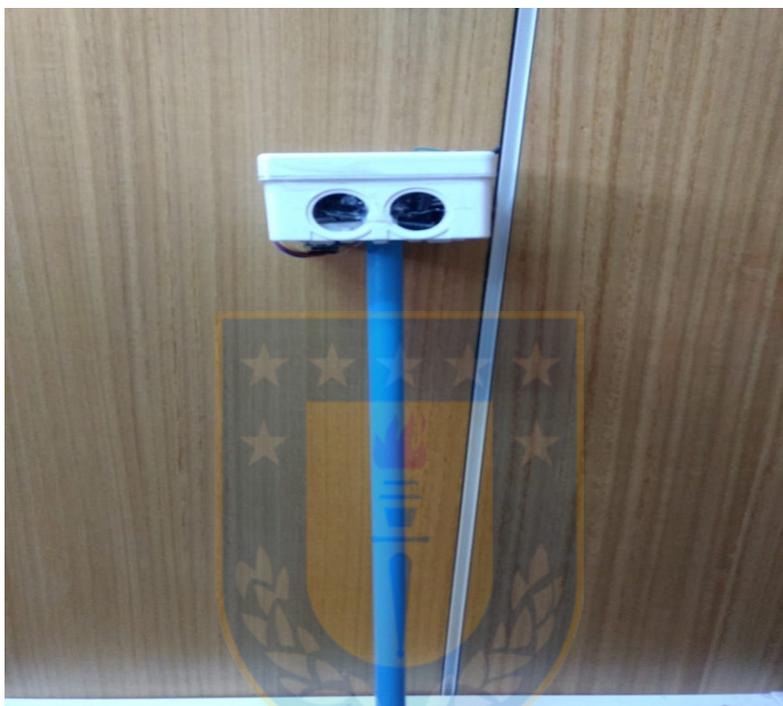


Figura 13. Lanza exterior



Figura 14. Lanza, Botones.



Figura 15. Memoria SD de fácil acceso.



Figura 16. Sensores.

7. Sistema de apoyo para generar reportes:

Una vez la sonda recolecta los datos, se necesita almacenarlos, para eso se desarrolló un software capaz de procesar y almacenar los datos además de generar informes.

El servidor se implementó de forma local.

7.1 Diagrama de casos de uso:

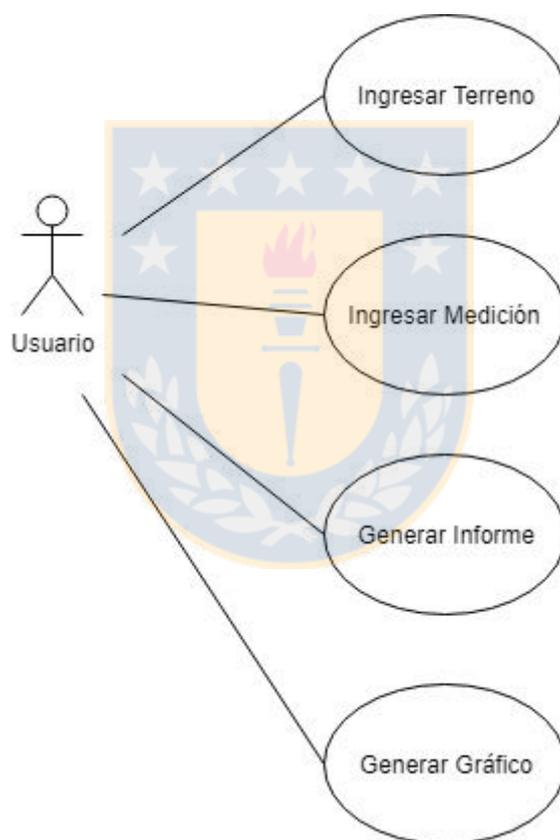


Figura 17. Diagrama de casos de uso.

Más detalles de los casos de uso se despliegan en el anexo, página 34.

7.2 Modelo de Datos:

En las primeras conversaciones con los interesados de INIA se manifestó su interés por informes sobre las temperaturas y humedad alcanzadas por los compostajes, en base a estos requerimientos se creó el modelo de datos que se presenta a continuación:

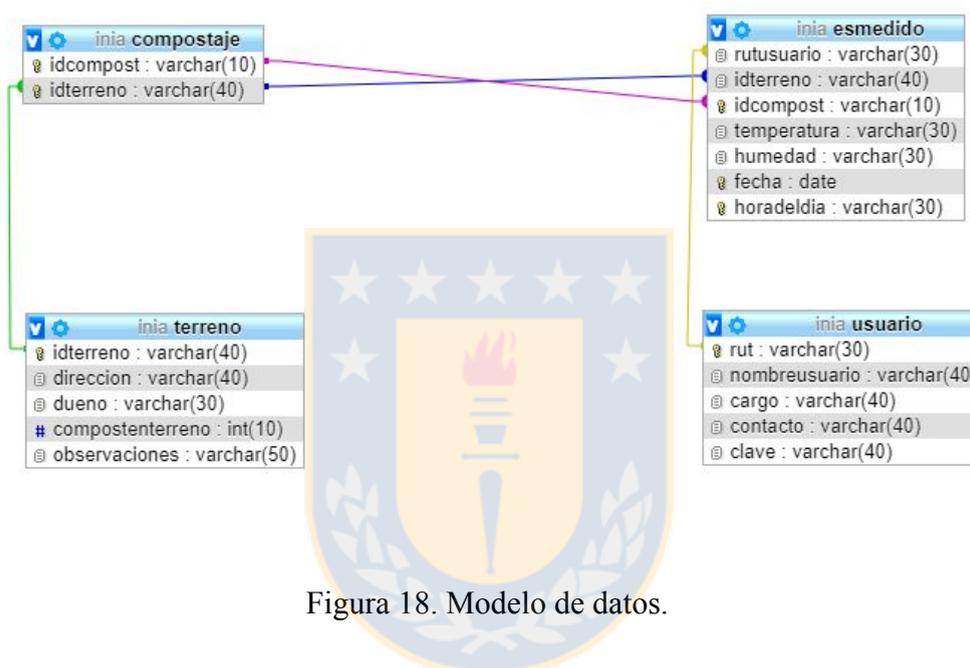


Figura 18. Modelo de datos.

Cuenta con 4 tablas, una representa el *terreno* en el cual se ubica el compost, otro identifica al *compost* como tal (es una entidad débil respecto al terreno), otra entidad representa al *usuario* y sus datos y por ultimo esta la entidad *esmedido*, la cual cuenta con las mediciones, la id del terreno, la id del compost que midió un usuario en específico y la fecha en la que fue medido. Se realizó el modelo de datos de esta forma con el fin de realizar consultas (del tipo SELECT) sobre esta tabla y generar un informe en formato PDF.

7.3 Interfaz Gráfica del Software:

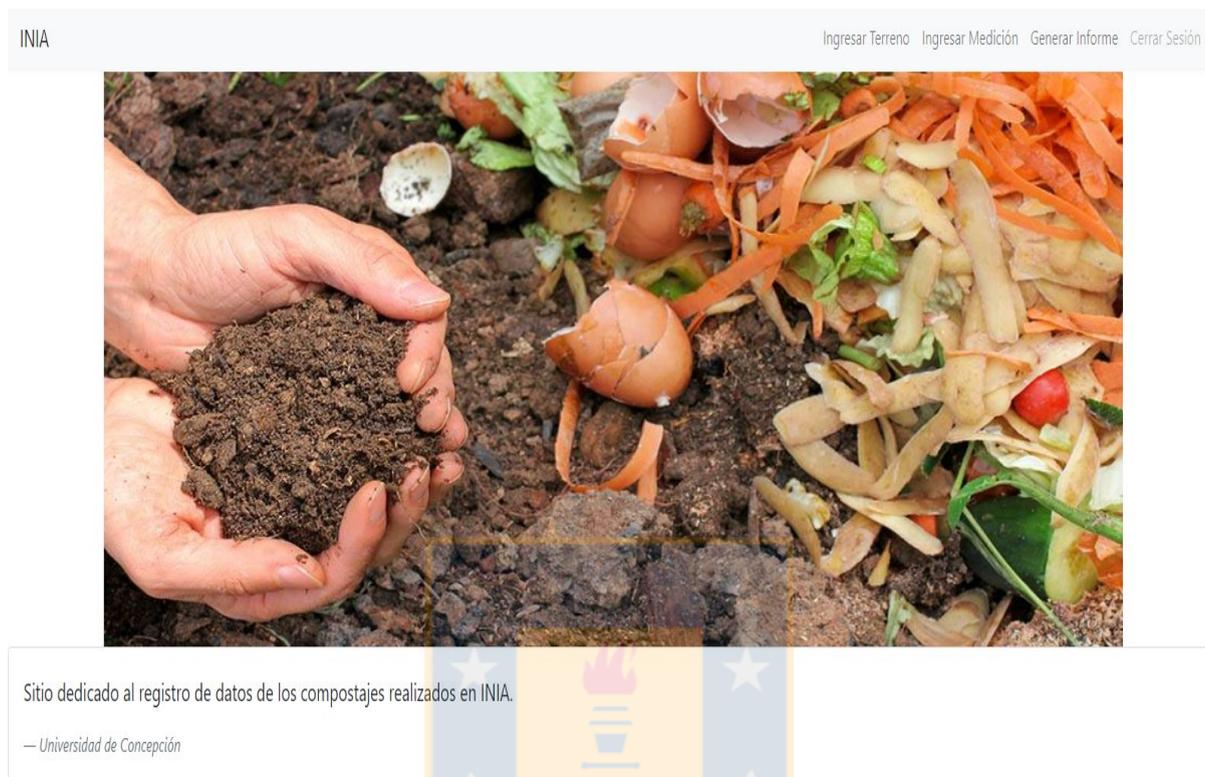


Figura 19. Interfaz gráfica del software.

Este software cuenta con las siguientes funcionalidades:

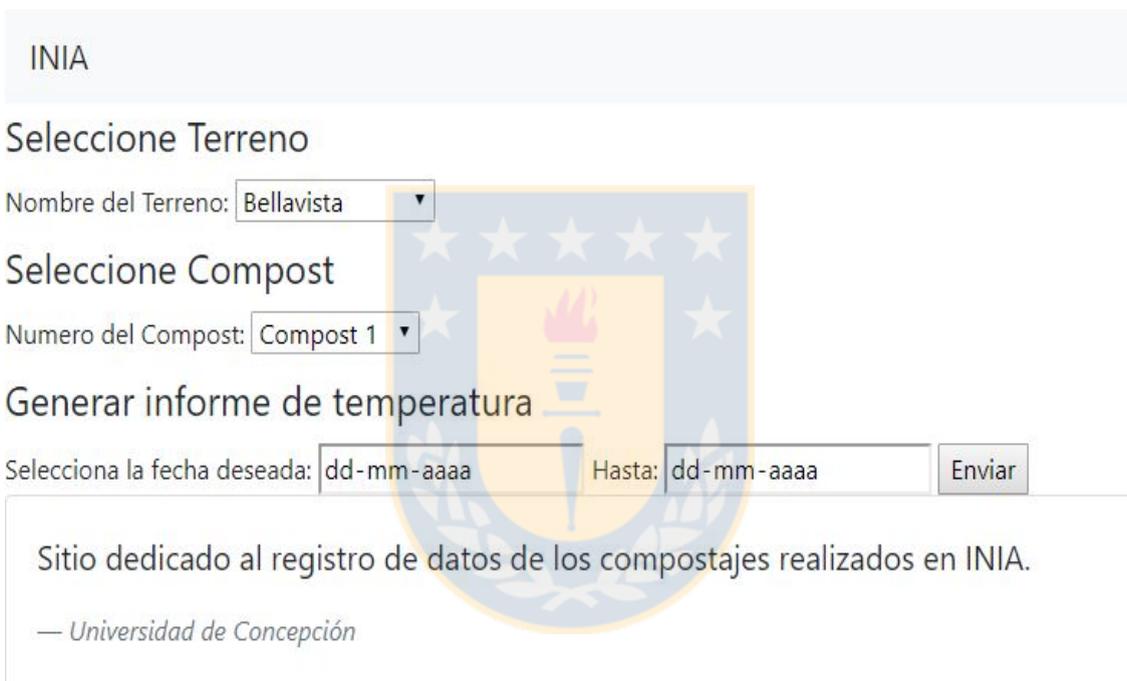
- Ingresar un nuevo terreno de compostaje.
- Ingresar las mediciones tomadas en un terreno y asociarlos a un compost.
- Generar un informe en formato PDF.
- Un sistema de autenticación de usuario.
- Generar gráficas de temperatura de los compostajes.

A continuación se muestran la funcionalidad de generación de informes y gráficos, el resto de las funcionalidades se encuentran en el anexo página 42.

7.4 Generar informe

Una vez ingresado los datos a la base de datos se pueden generar informes sobre cada compost en específico, este informe contiene todos los datos sobre el compost en una fecha requerida por el usuario (temperatura, humedad, fecha de toma de muestras, momento en el día que se realizó, número de compost, terreno en el que se encuentra etc.).

Para generar un informe de debe seleccionar esta opción en el menú principal, desplegándose el siguiente menú:



INIA

Seleccione Terreno

Nombre del Terreno:

Seleccione Compost

Numero del Compost:

Generar informe de temperatura

Selecciona la fecha deseada: Hasta:

Sitio dedicado al registro de datos de los compostajes realizados en INIA.
— Universidad de Concepción

Figura 20. Generar informe PDF.

En este menú se debe seleccionar el terreno y número de compost y rango de fechas del cual se quiere generar informe, finalmente se debe presionar el botón enviar y se generará un PDF con los datos solicitados.

Este informe corresponde al compost:

Numero: 1

Terreno: C13

Desde: 2018-10-22

Hasta: 2018-11-01

Compost	Temperatura C	Humedad %	Fecha	Hora Medida
1	22	1	2018-10-22	Madrugada
1	11	10	2018-10-22	Tarde
1	22	2	2018-10-23	Madrugada
1	22	13	2018-10-23	Tarde
1	24	3	2018-10-24	Madrugada
1	55	33	2018-10-24	Tarde
1	25	4	2018-10-25	Madrugada
1	66	23	2018-10-25	Tarde
1	26	4	2018-10-26	Madrugada
1	42	12	2018-10-26	Tarde
1	29	1	2018-10-29	Madrugada
1	43	12	2018-10-29	Tarde
1	30	1	2018-10-30	Madrugada
1	54	23	2018-10-30	Tarde

Figura 21. Informe PDF generado.

Este informe es de vital importancia para la gente que está interesada en comerciar este compost, pues para poder venderlo se exige un informe que indique que ha pasado por temperaturas superiores a los 55 °C por al menos 3 días seguidos o sobre 40 °C grados por 10 días seguidos para poder ser considerado estéril y libre de patógenos externos.

7.5 Generar gráfico

La aplicación web es capaz de generar un gráfico en un rango de fechas determinado, este muestra las temperaturas alcanzadas por el compost y ofrece la opción de descargar el gráfico en diferentes formatos (CSV, PDF, JPEG, PNG entre otros.)

INIA

Seleccione Terreno

Nombre del Terreno:

Seleccione Compost

Numero del Compost:

Generar grafico de temperatura

Selecciona la fecha deseada: Hasta:

Sitio dedicado al registro de datos de los compostajes realizados en INIA.
— Universidad de Concepción

Figura 22. Interfaz para generar gráfico.

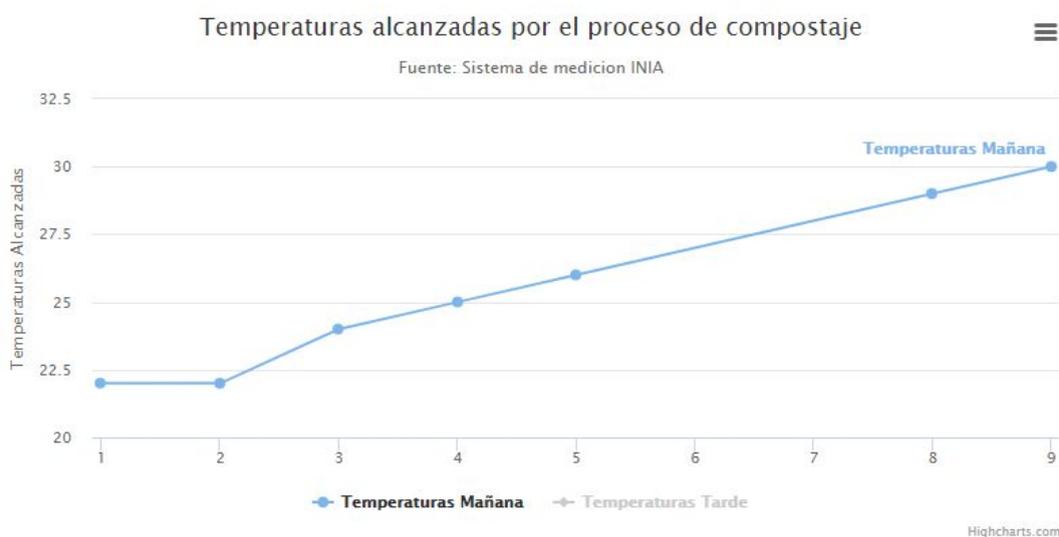


Figura 23. Gráfico generado por la aplicación web.

8. Experimentos y resultados

La sonda fue testada en terreno, específicamente en el Faro Agroecológico del Instituto de Investigaciones Agropecuaria INIA Quilamapu, para las pruebas se midieron 3 pilas de compost diferentes, recolectando datos de humedad y temperatura.



Figura 24. Pruebas en terreno.

Para cotejar los resultados obtenidos por la sonda se utilizó una termocupla modelo CHY805, esta termocupla puede tener un error en las mediciones de +/- 0.1 °C.

A continuación se despliega una imagen del sensor CHY805 utilizado habitualmente en INIA.



Figura 25. Termocupla CHY805.

Una vez completadas las pruebas, la comparación entre la sonda y la termocupla arrojó los siguientes resultados:

Nº Medida	Termocupla °C	Dispositivo propuesto °C	Similitud
1	27.3	26.5	97%
2	33.5	33.9	99%
3	21.9	21.6	99%
4	32.7	31.12	98%
5	20.8	20.8	100%

Tabla 2. Comparación de temperaturas.

Los resultados expuestos anteriormente fueron graficados y se presentan a continuación:

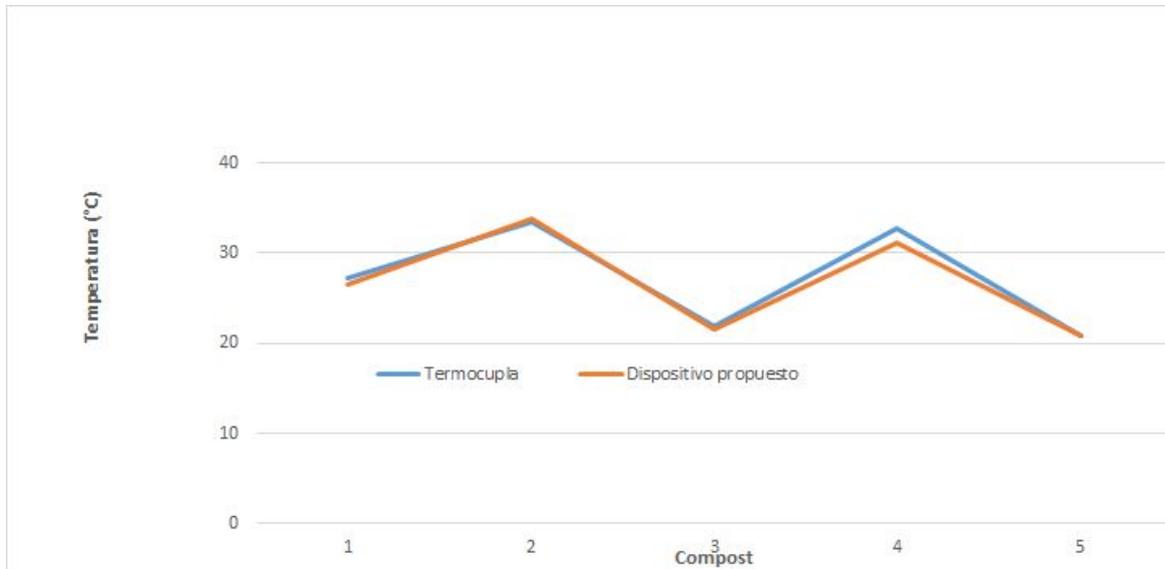


Figura 26. Gráfico comparativo de temperaturas.

De esta gráfica se puede concluir una correlación entre ambos sensores de un 99%, este porcentaje se obtuvo al comparar la desviación que presentaba un sensor respecto al otro, lo que indica que la nueva sonda puede considerarse funcional en el ámbito de medición de temperaturas.

En el caso de la humedad se tomaron los valores obtenidos por la sonda y se compararon con los valores obtenidos por la técnica de análisis gravimétrico el cual consiste en determinar la cantidad proporcionada de un elemento, radical o compuesto presente en una muestra, eliminando todas las sustancias que interfieren y convirtiendo el constituyente o componente deseado en un compuesto de composición definida que sea susceptible de pesarse [16].

Los resultados obtenidos se despliegan en la siguiente tabla:

Nº Medida	Análisis gravimétrico (% humedad)	Dispositivo propuesto (% humedad)	Similitud
1	59.63	126	47%
2	63.93	129	50%
3	60.08	140	43%
4	66.50	132	50%
5	46.80	113	41%

Figura 27. Comparación de humedad.

Los resultados expuestos anteriormente fueron graficados y se presentan a continuación:



Figura 28. Gráfico comparativo de humedad.

Por otra parte el sensor de humedad de la sonda no obtuvo los resultados esperados, si bien obtuvo una correlación cercana al 76% respecto a la técnica de análisis gravimétrico, tan solo obtuvo un 50% de similitud de resultados, esto puede deberse a que el sensor de humedad fue calibrado en agua y no en tierra húmeda. Esta hipótesis debe ser comprobada en un trabajo futuro por temas de tiempos asociados a la memoria de título.

9. Conclusiones

La informática es una ciencia que actualmente está presente en casi todos los ámbitos de nuestra vida, los procesos que antiguamente requerían una mayor cantidad de tiempo pueden ser tratados en minutos gracias a su automatización.

Para este proyecto en particular se tomó un proceso agrícola el cual consiste en generar materia orgánica estabilizada rica en microorganismos benéficos y nutrientes para las plantas a partir de una mezcla de desechos orgánicos. Estas mediciones se realizan en papel y toman más tiempo del que debiera poder ingresarlas a un ordenador y mantener un control sobre el proceso de compostaje, con la llegada de este proyecto se proporciona un dispositivo modular capaz de medir humedad y temperatura de forma automática, además de un software capaz de generar informes que certifican la calidad de un compostaje.

Así como ese proyecto es capaz de automatizar un proceso de la agricultura, aún quedan muchos otros (sobre todo en este rubro) que pueden ser mejorados mediante una herramienta tan potente como lo es la informática, se espera que este proyecto despierte el interés en esta área pues aún hay mucho trabajo por realizar que puede significar un gran avance para nuestro país en temas de agricultura.

10. Trabajo futuro

En el área de la agricultura aún queda una enorme cantidad de procesos que pueden ser optimizados mediante herramientas informáticas, este proyecto es un ejemplo de esto, pues se obtuvo una herramienta funcional para el registro de temperaturas y generación de informes de compostaje, proceso que antiguamente se realizaba a mano.

De aquí se desprende la importancia de este trabajo que pretende fomentar la inclusión de la informática en áreas como esta.

Este proyecto funciona de forma eficiente, pues es capaz de generar reportes y gráficas de temperatura útiles para el interesado, en este caso INIA, simplificando el trabajo que se realizaba previa a la existencia de este proyecto.

Aún quedan aspectos que pueden ser mejorados en un trabajo futuro, por ejemplo:

- Mejorar y calibrar el sensor de humedad, con tal de mejorar la correlación de las medidas.
- Mejorar la interfaz gráfica del software para hacerla más amigable al usuario.
- Mejoras de software que permitan el almacenamiento de las medidas de varios terrenos a la vez.
- Implementar un manejo remoto de sensores, que permitan por ejemplo tomar medidas a distancia o voltear las pilas de compost alcanzando cierta temperatura.

11. Bibliografía

- [1] Arancibia, L., and Bradasic, P. 2007. Manual de agricultura orgánica para pequeños productores agrícolas de la XII Región de Magallanes. Instituto de Desarrollo Agropecuario, Punta Arenas, Chile.
- [2] EMG Consultores. 2011. Propuesta de Plan Estratégico para la Agricultura Orgánica chilena 2010-2020. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), Santiago, Chile. (FiBL/IFOAM, 2015).
- [3] Patel, D. et al. 2014. Continuous application of organic amendments enhances soil health, produce quality system productivity of vegetable-based cropping systems in Subtropical eastern Himalayas. *Experimental Agriculture* 51:85:106.
- [4] Céspedes, C. y Millas, P. 2015. Relevancia de la materia orgánica del suelo. In Ruiz, S. Rastrojos de Cultivos y Residuos Forestales. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Chillán, Chile.
- [5] INN. 2015. Norma Chilena Oficial Nch 2880. Of 2015. Compost – Clasificación y requisitos. Instituto Nacional de Normalización (INN), Santiago, Chile.
- [6] Gobierno de Chile, Compost - clasificación y requisitos, Santiago, 22 de febrero 2005.
- [7] Jesús Paredes Calderón, Compost y norma Chilena, Santiago, 7 de Noviembre 2003.
- [8] ORyan Herrera Jorge, El compostaje y su utilización en agricultura, Santiago, Diciembre 2007.
- [9] Manaf Alajrad Akil, Sistema de control de calidad de compostaje, Concepción, Diciembre 2017.

[10] Jecrespom, Septiembre 2016, Qué es Arduino
<https://aprendiendoarduino.wordpress.com/2016/09/25/que-es-arduino/>.

[11] Aurelio Gandarillas, Prototipado, 23 de Julio 2017
<https://metodologia.es/prototipado/>

[12] Wikipedia, Categoría: Herramientas de trabajo, Octubre del 2018
https://es.wikipedia.org/wiki/Placa_de_pruebas

[13] Luis Thayer Ojeda, Arduino, Santiago de Chile
<http://arduino.cl/arduino-uno/>

[14] Naylamp Mechatronics SAC, Trujillo - Perú, Agosto del 2016
https://naylampmechatronics.com/blog/46_Tutorial-sensor-de-temperatura-DS18B20.html

[15] Maxelectronica, Santiago-Chile, Enero 2008
<http://www.maxelectronica.cl/temperatura-y-humedad/44-sensor-de-humedad-de-suelo-mode-lo-yl-38-y-sonda-yl-69.html>

[16] Wikipedia, Categoría: Técnicas analíticas, Septiembre del 2018
https://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_gravim%C3%A9trico

12. Anexos:

12.1 Manual de usuario:

A continuación se presenta el manual de usuario de la sonda y de aplicación web realizada en esta memoria de título.

12.1.1 La sonda

Primero se presenta la sonda de datos, esta tiene un diseño sencillo para facilitar el uso de los agricultores en el campo, cuenta con dos botones, batería y un módulo lector de tarjetas SD donde se guardan los datos.

12.1.2 Modo de uso: Lectura de datos

Como se mencionó anteriormente la sonda cuenta con dos botones. El botón de la derecha permite a la sonda iniciar una medición, es decir da la orden a los sensores de registrar la humedad, temperatura y fecha de medición en un momento determinado. El botón de la izquierda permite finalizar la medición, es decir una vez registrados los datos de un compost “x” se debe presionar este botón para que la sonda registre las mediciones que siguen como un compost diferente al actual.



Figura 29. Botones sonda medición.

12.1.3 Lectura y guardado de datos

Los datos obtenidos por la sonda serán almacenados en una tarjeta SD ubicada bajo los botones de la sonda, es de fácil extracción y solo debe estar ubicada en su posición antes de iniciar las mediciones (la lectura de datos es realizada en la aplicación web).



Figura 30. Módulo de tarjeta SD sonda.

12.1.4 Aplicación web

Para completar el proceso de toma y registro de datos se creó una aplicación web que realiza las siguientes funciones:

- Autenticar usuarios (usuarios y contraseñas entregadas por el administrador).
- Ingresar un nuevo terreno donde se realizará compostaje.
- Ingresar los datos obtenidos por la sonda.
- Realizar un informe de los datos obtenidos.
- Realizar un gráfico de los datos obtenidos.

A continuación se adjunta la documentación de casos de uso.



13. Documentación de casos de uso y capturas

N° Caso de uso: 1	Nombre: Ingresar Terreno	
Actores	Usuario, Servidor	
Objetivo	El usuario quiere ingresar un nuevo terreno de compost	
Precondiciones	El usuario debe identificarse previamente.	
Postcondiciones	El usuario ingresa un nuevo terreno	
Flujo de Eventos	Actividades del actor	<p>2. El usuario llena un formulario con los datos solicitados.</p> <p>3.El usuario envía los datos.</p>
	 <p>Respuesta del Sistema</p>	<p>1. El sistema muestra el fichero con los datos solicitados para el ingreso de un nuevo terreno</p> <p>4. El sistema recibe los datos, asocia una id al nuevo terreno y los almacena en la base de datos.</p>
Manejo situación excepcional:	3' Si no fue posible el envío de datos se despliega un mensaje y se solicita al usuario volver a realizar la inscripción.	

N° Caso de uso: 2	Nombre: Ingresar Medición	
Actores	Usuario, Servidor	
Objetivo	El usuario ingresa las mediciones obtenidas con la sonda.	
Precondiciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario debe identificarse previamente. 2. El usuario debe haber realizado mediciones con la sonda y contar con la tarjeta sd. 3. El terreno al cual están asociados los datos debe estar ingresado previamente. 	
Postcondiciones	El usuario ingresa las mediciones y son asociadas a los compost y terrenos en específico.	
Flujo de Eventos	Actividades del actor 	<ol style="list-style-type: none"> 2. El usuario selecciona el responsable de las mediciones y el terreno al cual serán asociadas. 3. El usuario selecciona el archivo txt generado por la sonda y lo envía.
	Respuesta del Sistema	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema recupera datos de la base y despliega los empleados y terrenos ingresados. 4. El sistema recibe los datos, asocia las mediciones recogidas a cada compost correspondiente.
Manejo situación excepcional:	4' Si el sistema no puede asociar los datos se despliega un mensaje y se informa de la situación.	

N° Caso de uso: 3	Nombre: Generar Informe	
Actores	Usuario, Servidor	
Objetivo	El usuario genera un documento pdf en el cual se detallan las mediciones de un compost en específico en una fecha específica.	
Precondiciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario debe identificarse previamente. 2. El usuario debe haber ejecutado el caso de uso 2 para el terreno sobre el cual generará documentos. 	
Postcondiciones	El usuario obtiene un documento pdf donde se indica la humedad y la temperatura en el rango de fechas solicitadas.	
Flujo de Eventos	Actividades del actor	<ol style="list-style-type: none"> 2. El usuario selecciona el rango de fechas en el que quiere saber los datos asociados al compost. 3. El usuario envía la solicitud al servidor.
	Respuesta del Sistema	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema recupera datos de la base y despliega los terrenos y composts almacenados en la base. 4. El sistema recibe los datos y genera un pdf con lo solicitado.
Manejo excepcional:	situación	4' No se cuenta con datos en la fecha ingresada, se emite una alerta.

N° Caso de uso: 4	Nombre: Generar Gráfico	
Actores	Usuario, Servidor	
Objetivo	El usuario genera un gráfico en el cual se detallan las mediciones de un compost en específico en una fecha específica.	
Precondiciones	<ol style="list-style-type: none"> 1. El usuario debe identificarse previamente. 2. El usuario debe haber ejecutado el caso de uso 2 para el terreno sobre el cual generará documentos. 	
Postcondiciones	El usuario obtiene un gráfico donde se indica la temperatura en el rango de fechas solicitadas.	
Flujo de Eventos	Actividades del actor	<ol style="list-style-type: none"> 2. El usuario selecciona el rango de fechas en el que quiere saber los datos asociados al compost. 3. El usuario envía la solicitud al servidor.
	Respuesta del Sistema	<ol style="list-style-type: none"> 1. El sistema recupera datos de la base y despliega los terrenos y composts almacenados en la base. 4. El sistema recibe los datos y genera un gráfico con los datos solicitado.
Manejo excepcional:	situación	4' No se cuenta con datos en la fecha ingresada, se emite una alerta.

13.1 Autenticación de usuarios

Para acceder a la aplicación web es necesario ingresar los datos de usuario y contraseña, estos serán otorgados por un administrador y permiten la identificación del usuario.



Formulario de Login

Usuario

Contraseña

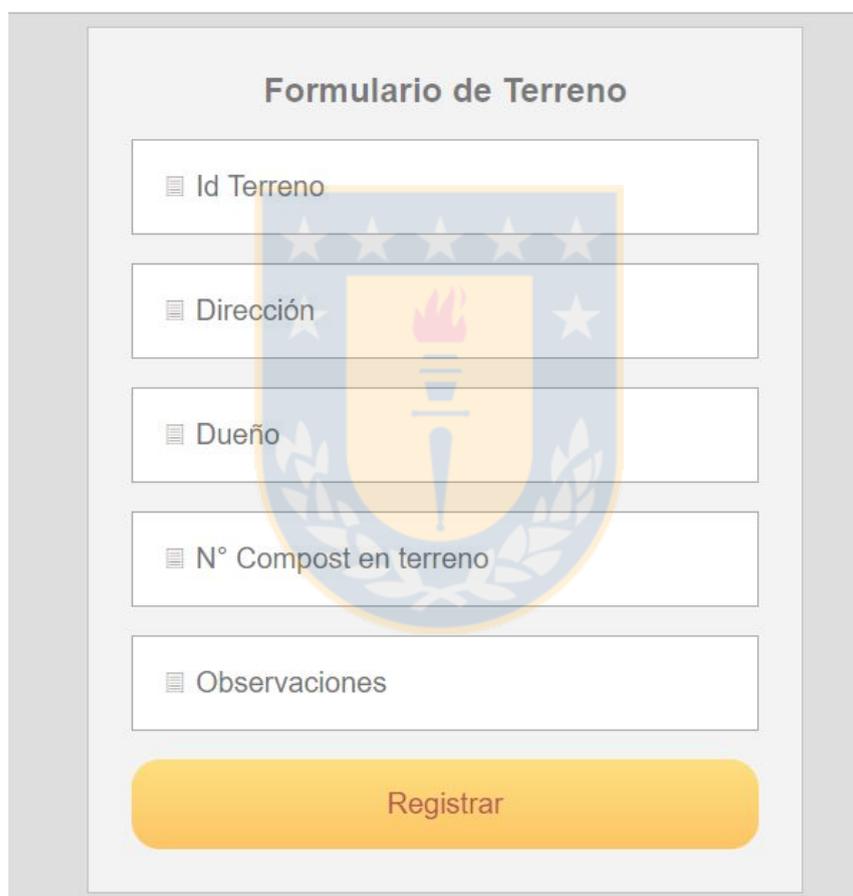
Ingresar

The image shows a login form titled "Formulario de Login" centered on a light gray background. It features two input fields: "Usuario" and "Contraseña", each with a lock icon on the left. Below the fields is a yellow button with the text "Ingresar". A large, semi-transparent watermark of a university crest is visible in the background of the form area.

Figura 31. Autenticación de usuarios.

13.2 Ingreso de terrenos

Es importante saber en qué terreno se encuentra cada compost es por esto que la aplicación web permite registrar un terreno, la cantidad de compost que en este se encuentran (es importante ingresar la cantidad de compost que hay en cada terreno pues es un dato utilizado por la aplicación al momento de registrar los datos almacenados en la tarjeta SD), la dirección, el dueño del terreno y cualquier observación adicional que se tenga sobre el terreno.



Formulario de Terreno

Registrar

Figura 32. Ingreso de terrenos.

13.3 Ingreso de datos leídos por la sonda

Una vez obtenidos los datos por la sonda es posible ingresarlos a una base de datos mediante la aplicación web, para esto el usuario debe dirigirse a la pestaña de ingresar medición, donde se desplegará el siguiente menú:

INIA

Seleccione Terreno
Nombre del Terreno:

Seleccione Empleado
Nombre del empleado:

Seleccione Hora del dia
Hora del dia:

Seleccione Archivo
 No se eligió archivo

Figura 33. Ingreso de datos de la sonda.

Acá se debe seleccionar el terreno en el cual se efectuaron las mediciones, el empleado encargado de realizarlas y la hora del día en que fueron realizadas, que según las necesidades del instituto de investigaciones agropecuarias INIA, pueden realizarse en la madrugada o en la tarde, finalmente se requiere que el usuario seleccione el archivo “sensores” almacenado en la tarjeta SD que fue previamente extraída de la sonda de mediciones e ingresada a un ordenador. Finalmente se debe presionar el botón enviar para subir los datos a la base.