

***Anexo Técnico***

**Alumna: Lucía Tejedor de la Cruz**

**Correo electrónico: l.tejedor.2022@alumnos.urjc.es**

***Justificación de Materiales del Proyecto TierraViva***

Este anexo técnico justifica la selección de materiales y tecnologías utilizadas en el Trabajo de Fin de Grado titulado “**TierraViva: Monitorización Sostenible y Riego Inteligente en Cultivos desatendidos**'.

El sistema ha sido diseñado para funcionar de forma autónoma en entornos rurales sin acceso a red eléctrica y comunicación limitada. La elección de cada componente ha sido realizada en base a criterios de eficiencia energética, fiabilidad, documentación técnica, relación calidad-precio y compatibilidad con tecnologías LPWAN como LoRa.

El sistema utiliza tecnología LoRaWAN para comunicación de bajo consumo y largo alcance, permitiendo el monitoreo de parámetros ambientales (humedad del suelo, temperatura, humedad del aire y luz) y el control automatizado de riego mediante nodos sensores distribuidos. El centro de control actúa como gateway local con backend para almacenamiento y visualización de datos.

La selección de materiales y tecnologías se basa en los siguientes **criterios clave**:

* **Eficiencia energética**: Prioridad en componentes de bajo consumo para maximizar la autonomía con fuentes solares.
* **Fiabilidad**: Componentes probados en entornos IoT rurales, con protección contra elementos adversos (IP65/67, anticorrosión).
* **Documentación técnica**: Disponibilidad de guías abiertas (Arduino IDE, Raspberry Pi docs, bibliotecas LoRaWAN, documentación IoT).
* **Relación calidad-precio**: Equilibrio entre costo y rendimiento, con precios actualizados a octubre 2025 en proveedores españoles como Amazon.es, PCComponentes.
* **Compatibilidad con LPWAN (LoRa)**: Integración nativa con módulos SX1262/SX1276 para frecuencias 868 MHz (Europa).

El equipamiento se divide en cuatro bloques. A continuación, se justifica cada componente, incluyendo precio estimado (IVA incluido, por unidad individual; precios de Amazon.es y similares, sujetos a variaciones). Se estima un sistema prototipo con **1 centro de control y 2 nodos** para un total de aproximadamente 500 €.

## Bloque 1: Centro de Control (Gateway y Backend)

El centro de control se basa en una Raspberry Pi 4 con recepción LoRa, almacenamiento local, panel de visualización web y energía solar autónoma. Permite la gestión del sistema sin dependencia de red externa. La Raspberry Pi 4 asegura versatilidad para backend, con alimentación solar para autonomía total.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Componente** | **Justificación** | **Precio Estimado (€)** | **Fuente** | **Enlace** |
| **Raspberry Pi 4 Modelo B** | Potencia quad-core (4GB RAM) para GPIO LoRa y backend; supera a ESP32 en procesamiento. Docs extensas en raspberrypi.org. | 67 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/Raspberry-Pi-4595-Modelo-GB/dp/B09TTNF8BT) |
| **microSD 64GB Clase 10** | Almacenamiento rápido para OS, DB y logs; Clase 10 evita bottlenecks en escritura continua. | 10 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/tarjeta-micro-sd-64gb-clase-10/s?k=tarjeta%2Bmicro%2Bsd%2B64gb%2Bclase%2B10) |
| **LoRa HAT Dragino 868 MHz** | Integración GPIO para multi-canal LoRaWAN (868 MHz Europa); más estable que USB. Docs en dragino.com. | 59 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/Seeedstudio-Dragino-LoRa-Shield-frequency/dp/B01GEIE4PI) |
| **Power Bank solar 5V 3A + panel solar 10-20W** | Autonomía ~5-10Wh/día; IP65 para rural. Eficiencia >18% en sombra. | 50 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/ADDTOP-Cargador-25000mAh-Port%25C3%25A1til-Impermeable/dp/B07GB4H8FB) |
| **Controlador solar MPPT Victron SmartSolar (75/10)** | Eficiencia 98% MPPT; protege batería y extiende vida útil. Bluetooth para monitoreo. | 60 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/Victron-charge-controller-built-Bluetooth/dp/B0CQXKKBDT) |
| **Conversor DC-DC 12V a 5V 3A** | Salida estable para Pi; evita picos en tx LoRa. Bajo consumo <1mA quiescente. | 9 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/Dc-Dc-Convertidor-Voltaje-Micro-Reductor/dp/B07H7FWLV8) |
| **RTC DS3231** | Precisión ±2ppm para timestamps offline; batería CR2032 dura años. | 4 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/AZDelivery-RTC-incluida-Raspberry-microcontrolador/dp/B01M2B7HQB) |

**Subtotal Bloque 1**: 259 €. Justificación general: Bajo consumo total (~2W activo), fiabilidad >95% uptime, ROI vía optimización riego (ahorro 20-30% agua).

## Bloque 2: Nodo Sensor (Microcontrolador + Sensores + Actuador)

Los nodos sensores están diseñados para operar de forma autónoma, recoger datos ambientales y controlar el riego según condiciones medidas. Usan tecnología LoRa por su bajo consumo y gran alcance.

Nodos autónomos con ESP32-LoRa para recolección de datos y control riego. Bajo consumo (<10µA sleep) y alcance >5km en rural.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Componente** | **Justificación** | **Precio Estimado (€)** | **Fuente** | **Enlace** |
| **TTGO LoRa32 V2.1 / Heltec LoRa V3** | ESP32 + LoRa integrado (SX1262); simplifica vs Arduino separado. Docs Arduino IDE. | 35 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/TTGO-ESP32-Paxcounter-versi%25C3%25B3n-pulgadas-Bluetooth/dp/B08T984WCT) |
| **Sensor de humedad del suelo capacitivo** | Resistente corrosión, preciso 0-100%; ideal farming. Bajo consumo <1mA. | 6 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/sensor-humedad-suelo-arduino/s?k=sensor%2Bhumedad%2Bsuelo%2Barduino) |
| **Sensor DHT22** | DHT22 económico (±0.5°C, ±2% RH); I2C fácil. | 8 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/AZDelivery-DHT-22-AM2302-Parent/dp/B07YSJWNGG) |
| **Sensor BH1750** | Luz 1-65535 lux digital I2C; estable vs LDR. Para triggers riego por insolación. | 7 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/HALJIA-GY-302-BH1750-Intensidad-BH1750FVI/dp/B07BFPDNXJ) |
| **Electroválvula 12V DC + MOSFET IRF520** | Control eficiente riego (bajo desgaste); MOSFET PWM para duty cycle. | 15 + 2 | Amazon.es | [Válvula](https://www.amazon.es/EXLECO-Electrov%25C3%25A1lvula-Solenoide-El%25C3%25A9ctrica-Normalmente/dp/B085BYC9X2) / [MOSFET](https://www.amazon.es/rahl-MOSFet-M%25C3%25B3dulo-controlador-Raspberry/dp/B0BVR4DNQ6) |
| **Caja estanca IP65/67** | Protección agua/polvo en campo; material ABS duradero. | 8 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/IDE-IP65-IP67-Estanca-Derivaci%25C3%25B3n-Laterales/dp/B08294WCR6) |

**Subtotal Bloque 2 (por nodo)**: 81 €. Justificación: Consumo tx <50mWh/paquete; compatibilidad LoRaWAN nativa; docs en GitHub repos.

## Bloque 3: Energía Autónoma para Nodos

Cada nodo se alimenta mediante un sistema solar-batería autónomo, sin necesidad de cableado externo. Sistema placa solar-batería para >6 meses autonomía; recarga diaria cubre ~10mAh/día.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Componente** | **Justificación** | **Precio Estimado (€)** | **Fuente** | **Enlace** |
| **Batería Li-ion 18650 (2600 mAh)** | Densidad alta, 500 ciclos; BMS integrado para seguridad. | 6 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/11-1v-2600mah-Bater%25C3%25ADa-Recargable-Conector/dp/B0CB96KQL2) |
| **TP4056 con protección** | Carga segura Li-ion (sobrecarga/descarga); eficiencia >90%. | 2 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/DiGiYes-M%25C3%25B3dulo-TP4056-bater%25C3%25ADa-protecci%25C3%25B3n/dp/B0CG8DRNCC) |
| **Panel solar 6V 2W** | ~1-2Wh/día soleado; policristalino eficiente en nublado. | 5 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/Port%25C3%25A1til-peque%25C3%25B1o-port%25C3%25A1til-Tel%25C3%25A9fono-Computadora/dp/B096MS9SKT) |
| **Conversor DC-DC 3.3V** | Regulación >90% para ESP32; bajo ripple. | 5 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/LAOMAO-Converter-Voltage-Convertidor-potencia/dp/B0CM9PQ949) |

**Subtotal Bloque 3 (por nodo)**: 18 €. Justificación: Eficiencia energética total >85%; fiabilidad en ciclos (MTBF >10k h).

## Bloque 4: Prototipado y Accesorios

Estos materiales son necesarios para el montaje, testeo y validación del Sistema; permiten medir consumo real (<1mA sleep).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Componente** | **Justificación** | **Precio Estimado (€)** | **Fuente** | **Enlace** |
| **Protoboard y cables jumper** | Para prototipado sin soldadura. Permiten validar circuitos antes del montaje final. | 7 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/breadboard-Breadboard-Protoboard-flexibles-macho-macho/dp/B09154YGJM) |
| **Soldador, estaño y herramientas** | Montaje permanente; tips intercambiables para precisión. | 25 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/80W-Kit-Profesional-Temperatura-Antiest%25C3%25A1ticas/dp/B0CSN4B7XJ) |
| **Multímetro digital con microamperímetro** | Permite medir el consumo real de los nodos en modo activo y en sueño profundo. Justifica la eficiencia energética en campo. Mide µA para eficiencia; resolución 0.1µA. | 25 | Amazon.es | [Ver producto](https://www.amazon.es/Medidor-microamperios-puntero-amper%25C3%25ADmetro-anal%25C3%25B3gico/dp/B0DJXTRNGK) |

**Subtotal Bloque 4**: 57 €. Justificación: Esencial para validación; bajo costo vs impacto en fiabilidad.

## Costo Total Estimado

Para **1 centro + 2 nodos**: 259 € (Bloque 1) + 162 € (2x Bloque 2) + 36 € (2x Bloque 3) + 57 € (Bloque 4) = **514 €**