

# Red de Sensores usando Plataforma NIOS II

Lisette Viviana Aguilar Oliveros<sup>(1)</sup>, Luis Adolfo Moreira Neira<sup>(2)</sup>, Ronald Alberto Ponguillo Intriago<sup>(3)</sup>  
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación<sup>(1)(2)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)<sup>(1)(2)</sup>  
Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 vía Perimetral  
Apartado 09-01-5863. Guayaquil-Ecuador<sup>(1)(2)</sup>  
lisvagai@espol.edu.ec<sup>(1)</sup>, lmoreir@espol.edu.ec<sup>(2)</sup>  
Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)<sup>(3)</sup>, Ingeniero en Electrónica<sup>(3)</sup>, rponguil@espol.edu.ec<sup>(3)</sup>

## Resumen

*El presente artículo se ha basado en la implementación de una red de sensores inalámbricos aplicada en un sistema de riego para un invernadero utilizando la tarjeta de desarrollo DE2-115 ALTERA, basada en un dispositivo FPGA CYCLONE IV de Altera junto con memorias embebidas y un microprocesador NIOS II integrado que sirve para monitorear cultivos de un invernadero gracias a la obtención de datos de los distintos nodos sensores que se comunican a través del protocolo RS232 con la tarjeta DE2-115, que será el nodo central del sistema y el encargado de llevar una base de datos de todos los procesos que ejecuten cada uno de los nodos sensores almacenándolos en una memoria SD-CARD mediante una serie de algoritmos implementados en lenguaje C.*

**Palabras claves:** *comunicación inalámbrica, tecnología Zigbee, nodos sensores, protocolo RS232.*

## Abstract

*This article is based on the implementation of a wireless sensor network applied in an irrigation system for a greenhouse using ALTERA DE2-115 development board based on a FPGA Altera Cyclone IV device with embedded memories and a microprocessor NIOS II embedded used to monitor greenhouse crops by obtaining data from different sensor nodes that communicate via RS232 protocol with DE2-115 card, which will be the hub of the system and lead manager database of all processes running each of the sensor nodes storing them on an SD-CARD memory through a series of algorithms implemented in C language.*

**Key Words:** *wireless communication, Zigbee Technology, sensor nodes, RS232 protocol.*

## 1. Introducción

Actualmente la comunicación inalámbrica forma parte importante en todo diseño de ingeniería por los múltiples beneficios que ofrece, brindando alta confiabilidad al momento de la transmisión y recepción de datos, como lo es el caso de la tecnología Zigbee.

Al juntar la tecnología Zigbee con los FPGA's se pueden encontrar diversas soluciones a problemas tales como la seguridad, comunicación, monitoreo continuo de procesos y muchas otras necesidades de la vida cotidiana.

Uno de los procesos que deben ser monitoreados de manera continua es el cultivo en invernaderos, ya que los cultivos deben ser regados constantemente de acuerdo a la temperatura, humedad u horario de riego; por lo tanto el presente proyecto presenta un sistema de sensores inalámbricos utilizando la tarjeta de desarrollo DE2-115 de ALTERA para el monitoreo y control de un invernadero de manera inteligente comunicado por módulos Xbee, en donde el usuario puede ingresar los criterios de cuidado para cada cultivo.

## 2. Planteamiento

### 2.1 Planteamiento del problema

En ciudades como Guayaquil donde los factores climatológicos varían frecuentemente es necesario tener un cuidado continuo de los cultivos o en su defecto tener dispositivos dedicados al monitoreo de la producción de los mismos. En el mercado existen dispositivos encargados de controlar los procesos que se realizan en los invernaderos, muchos de estos dependen de un nodo central encargado del control de todas las señales y la toma de decisiones, pero no dan la facilidad de poder programarlos para los diferentes tipos de cultivos que desea cultivar el usuario.

Nuestra red de sensores ofrece la facilidad al usuario de poder ingresar el tipo de cultivo y las especificaciones del mismo para que de esta manera el sistema sea capaz de tomar decisiones de manera diferenciada con respecto a otros cultivos.

### 2.2 Objetivos

1. Diseñar e implementar un sistema de sensores inalámbricos para el control de un sistema de riego inteligente para un invernadero.
2. Obtener conocimientos acerca del funcionamiento de los FPGA, con la finalidad de utilizarlo como controlador del sistema de red de sensores.
3. Generar un respaldo de todas las actividades realizadas en el invernadero durante el día mediante la implementación de una solución HW/SW y almacenarlas en una base de datos dentro de una SD Card.

## 2.3 Alcance y Limitaciones

- ✓ El sistema permite el ingreso de características específicas dependiendo del tipo de cultivo que se desea monitorear tales como: humedad y temperatura.
- ✓ La información obtenida por los sensores será almacenada en una SD Card en formato .xls para una mejor interpretación por el usuario y a partir de estos datos se podrá generar un gráfico de Humedad vs. Temperatura para poder observar la correlación entre estos dos parámetros.
- ✓ El alcance de comunicación por medio de los módulos Xbee Serie 2 es de 120 metros con línea de vista y de 40 metros con obstáculos.
- ✓ Puesto que nuestro sistema está implementado con una red tipo malla no posee limitaciones en el área de comunicación y toma de decisiones, ya que si uno de los nodos se cae siempre se mantiene la alta disponibilidad entre el resto de nodos para poder tomar así una resolución.

## 3 Marco Teórico

### 3.1 Tarjeta de Desarrollo DE2-115

La Tarjeta DE2-115 de Altera consta de varias características que permiten al usuario practicar sus conocimientos mediante el desarrollo de diferentes circuitos digitales desde los más simples como un arreglo de puertas lógicas, hasta los que demandan más uso de sus periféricos. Esta tarjeta cuenta con una FPGA CYCLONE IV para fines educativos y de investigación.

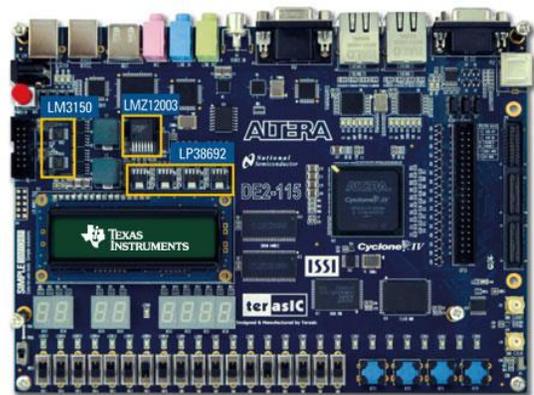


Figura 1. Tarjeta de Desarrollo DE2-115 de Altera [1]

### 3.2 Protocolo RS232

El protocolo RS-232 es una norma o estándar mundial que rige los parámetros de uno de los modos de comunicación serial. Por medio de este protocolo se estandarizan las velocidades de transferencia de datos, la forma de control que utiliza dicha transferencia, los

niveles de voltajes utilizados, el tipo de cable permitido, las distancias entre equipos, los conectores, etc. Además de las líneas de transmisión (Tx) y recepción (Rx), las comunicaciones seriales poseen otras líneas de control de flujo (Hand-shake), donde su uso es opcional dependiendo del dispositivo a conectar. A nivel de software, la configuración principal que se debe dar a una conexión a través de puertos seriales. RS-232 es básicamente la selección de la velocidad en baudios (1200, 2400, 4800, etc.), la verificación de datos o paridad (paridad par o paridad impar o sin paridad), los bits de parada luego de cada dato (1 ó 2), y la cantidad de bits por dato (7 ó 8), que se utiliza para cada símbolo o carácter enviado. La Norma RS-232 fue definida para conectar un ordenador a un modem. Además de transmitirse los datos de una forma serie asíncrona son necesarias una serie de señales adicionales, que se definen en la norma. Las tensiones empleadas están comprendidas entre +15/-15 voltios. [2]

### 3.3 Tecnologías Inalámbricas

#### Protocolo Zigbee

Es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal. [1]

Una de sus características importantes es que el protocolo ZigBee usa la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical), en concreto, 898MHz en Europa, 915 MHz en Estados Unidos y 2.4 GHz en todo el mundo, y para este proyecto se optó por la frecuencia de 2.4 GHz por ser libre en todo el mundo.

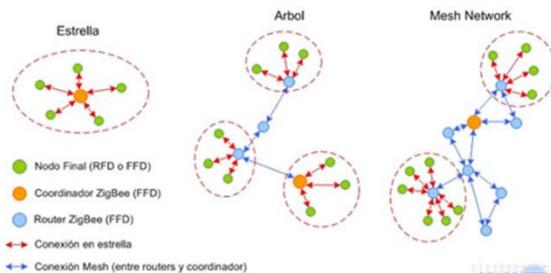


Figura 2. Modelo de Red Zigbee [10]

#### Coordinador Zigbee

Debe existir uno por red que se encargue de controlar la red y los caminos que deben seguir los dispositivos para conectarse entre ellos. Es el dispositivo más completo.

#### Router Zigbee

Interconecta dispositivos que se encuentran separados en la topología de la red, además de ofrecer una capa de aplicación para la ejecución de código de usuario.

#### Dispositivo Final

Este dispositivo posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con un nodo padre o router, pero no transmite información a otros dispositivos. De esta manera el nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo ayudando a la vida media de la batería. Es relativamente barato puesto a que no tiene grandes requerimientos de memoria.

### 4. Diseño e Implementación

Para la implementación del sistema se utilizó la Tarjeta de desarrollo De2-115 de Altera como nodo central y para los nodos sensores se utilizaron de diversos tipos entre ellos: temperatura, humedad y luminosidad; y para la comunicación entre nodos se implementó un protocolo de comunicación único. El diseño del invernadero está basado en un modelo tipo capilla.

#### 4.1 Sensores

##### 4.1.1 Sensor de Temperatura DS18B20

Es un sensor digital, con una precisión de 9 a 12 bits, con un rango de medición desde -55°C hasta 125°.

##### Características:

- ✓ El rango de voltajes de alimentación es de 3V a 5.5V
- ✓ ±0.5°C de exactitud desde -10°C hasta +85°C
- ✓ Resolución seleccionable de 9 a 12 bits.

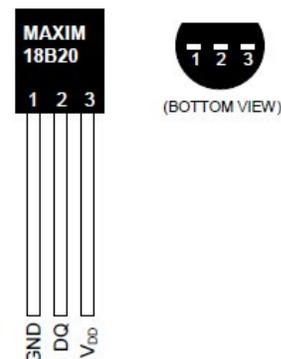


Figura 3. Sensor de Temperatura DS18B20.

#### 4.1.2 Sensor de Humedad

Las especificaciones del sensor SKU: SEN0114 son:

- ✓ Alimentación de 3.3 o 5 Voltios.
- ✓ Voltaje de salida: 0 a 4.2 Voltios.
- ✓ Corriente: 35 mA.

En la Tabla 1 se muestra la relación de Voltaje vs. Humedad del suelo en base a la salida de voltaje que entrega el sensor de humedad.

SALIDA EN VOLTIOS	ESTADO DEL SUELO
0	Suelo completamente Húmedo
1 – 2	Suelo Húmedo
4	Suelo Seco

Tabla 1. Relación Voltaje vs. Humedad del Suelo.

#### 4.1.3 Sensor de Luminosidad

La fotorresistencia es una resistencia cuyo valor dependen de la energía luminosa incidente en ella, específicamente son resistencias cuyo valor de resistividad disminuye a medida que aumenta la energía luminosa incidente sobre ella y viceversa.

En nuestro caso utilizamos un LDR como resistencia superior en un divisor de tensión con el objetivo de obtener mayor voltaje de salida cuando se encuentre expuesta a la luz del día, en la tabla 2 se muestra la relación voltaje vs. Luminosidad.

SALIDA EN VOLTIOS	LUMINOSIDAD
0 - 1 [V]	Noche
1.1 – 3 [V]	Tarde
3.1 – 5 [V]	Día

Tabla 2. Relación Voltaje vs. Luminosidad.

#### 4.2 Invernaderos

Un invernadero (o invernáculo) es un lugar cerrado, estático y accesible a pie, que se destina a la producción de cultivos, dotado habitualmente de una cubierta exterior translúcida de vidrio o plástico, que permite el control de la temperatura, la humedad y otros factores ambientales para favorecer el desarrollo de las plantas. [3]

##### 4.2.1 Estructura del Invernadero

La estructura es el almacén del invernadero, el cual está constituido por vigas y soportes, que sostienen la

cubierta que suele ser de plástico o de vidrio traslucido, la cual soporta el viento, la lluvia y los dispositivos que se instalan sobre las plantas, instalaciones de riego y atomización de agua, por otro lado debe haber un mínimo de sombra y libertad de movimiento interno.

En nuestro caso construimos un invernadero tipo capilla, fabricado en vidrio, con un ventilador en la parte posterior y una fluorescente en la parte superior del techo. Por el hecho de estar elaborado en modelo capilla nos brinda la facilidad de tener una evacuación fácil del agua lluvia, para esto la inclinación del techo es de 25°.

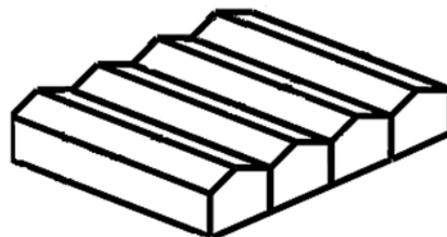


Figura 4. Invernadero tipo Capilla.

#### 4.3 Sistema de Riego.

El sistema de riego implementado en nuestro invernadero es el goteo. Este sistema es uno de los más utilizados y eficientes ya que a diferencia del riego tradicional y de la aspersión, aquí el agua se conduce desde la fuente de abastecimiento a través de tuberías pinchadas y en su destino se libera gota a gota justo en el lugar donde se ubica la planta, permitiendo que el agua se infiltre en el suelo produciendo una zona húmeda necesaria en la zona radicular de cada planta.

#### 4.4 Protocolo de Comunicación Implementado

Para establecer la comunicación punto a punto entre cada nodo y la tarjeta hemos creado un protocolo en el cual cada nodo tiene asociado a él dos caracteres únicos, de los cuales, uno es el nombre del sensor y sirve para indicarle a la tarjeta que tiene un dato listo para ser enviado, y el otro establece la comunicación con la tarjeta DE2-115.

Cuando un nodo tiene un dato listo para ser enviado, primero escucha si la tarjeta está disponible para establecer comunicación, de ser así la tarjeta envía el carácter correspondiente para que proceda a enviar el dato sensado, caso contrario, es decir si la tarjeta está ocupada con otro nodo espera 4 segundos antes de anunciarse nuevamente con la tarjeta.

Por otro lado la tarjeta recibe el identificador del nodo que quiera comunicarse con ella, revisa su base de datos y envía el carácter que le corresponde para comunicarse vía punto a punto con ese nodo, mientras los demás esperan un tiempo de penalización de 4 segundos.

En la tabla 3 se muestra cada uno de los identificadores que utiliza el protocolo de comunicación implementado, tanto como el identificador de

comunicación y el identificador propio de cada nodo sensor.

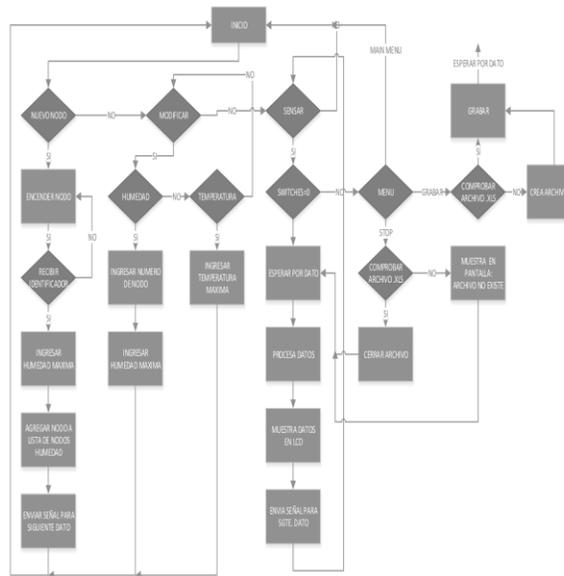
NODO	IDENTIFICADOR PROPIO	IDENTIFICADOR DE COMUNICACIÓN
Temperatura	T	V
Humedad	A	M
Luminosidad	L	N

**Tabla 3.** Caracteres Identificadores para cada Nodo.

Cada dato enviado por los nodos sensores recibe una orden en respuesta desde la tarjeta DE2-115, ésta acción tiene como objetivos principales indicarle al nodo sensor que puede continuar sensando datos y también sirve como acuse de recibido, es decir si el nodo sensor no recibe una orden de la tarjeta DE2-115 en respuesta de su dato enviado el nodo retransmite, ya que esto implica que la tarjeta no proceso su dato.

#### 4. Diagrama Funcional

En la figura 5 se muestra un diagrama funcional de nuestro proyecto, el cual describe cada etapa del proceso del mismo, a continuación se da una breve explicación del funcionamiento del mismo.



**Figura 5.** Diagrama Funcional de la Solución Implementada.

Una vez iniciado el sistema, el usuario debe seleccionar una de las tres opciones en el menú. En el caso de seleccionar la opción NUEVO NODO deberá encender el nodo sensor de humedad para que se sincronice con la tarjeta e ingresar las especificaciones apropiadas para el cultivo a monitorear, de esta manera se agrega el nodo sensor a la lista de Sensores de Humedad, al finalizar el proceso envía un identificador al nodo para que empiece a sensar; este proceso no se hace con los nodos de Temperatura y Humedad puesto

que sólo existe uno de cada tipo por sistema y se emparejan automáticamente al encenderse.

En la segunda opción se puede modificar las condiciones de monitoreo del cultivo tales como humedad y temperatura. En el caso de ser humedad se debe ingresar el número de nodo a modificar, el cual es el identificador que se le da a cada nodo en el orden en el que se encienden. Por otro lado si es temperatura se pide al usuario ingresar la temperatura máxima para el cultivo en general.

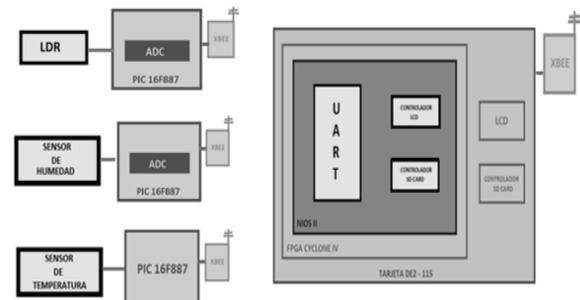
En la opción de SENSAR los sensores empiezan a realizar sus mediciones en tiempo real, se muestra en la pantalla LCD los datos obtenidos.

Durante cualquier proceso el usuario puede activar un switch para acceder a un menú en el cual se brinda al usuario la posibilidad de grabar en una memoria SD Card un archivo .xls de nombre Monitoreo y detener la grabación cerrando el mismo archivo, o regresar al menú principal.

#### 5. Diagrama de Bloques

Para demostrar de manera más sencilla el funcionamiento de la red inalámbrica de sensores se construyó un diagrama de bloque, el cual lo mostramos en la figura 3.2 y se puede observar lo siguiente:

- ✓ Existen 3 nodos sensores transmisores de los cuales dos son analógicos: humedad y luminosidad, y uno digital: temperatura, y un nodo central (Tarjeta de Desarrollo DE2-115), cada uno con su módulo transmisor Xbee Serie 2.
- ✓ Existe una etapa de digitalización por medio del módulo ADC presente en el PIC 16F887.
- ✓ Recepción de los valores transmitidos por el PIC en la tarjeta DE2-115.
- ✓ Visualización de los datos recibidos por los sensores en la pantalla LCD de la tarjeta DE2-115.
- ✓ Almacenamiento de los datos procesados en una memoria SD Card.



**Figura 6.** Diagrama de Bloques de la Red de Sensores Inalámbricos.

## 6. Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

1. Gracias a los conocimientos adquiridos durante el periodo universitario en programación con lenguaje de alto nivel se pudo generar un sistema para una tarjeta de desarrollo NIOS II que cumple con todas las necesidades definidas para el monitoreo del sistema de riego. El uso del lenguaje C como herramienta para desarrollar un algoritmo para controlar el funcionamiento del proyecto, demuestra la versatilidad que posee dicho lenguaje de programación, lo cual nos permitió implementar un Hardware acorde a los objetivos establecidos.
2. En base a la configuración establecida en cada uno de los nodos sensores y la tarjeta de desarrollo DE2-115 (nodo central), conseguimos una red tipo malla al establecer los parámetros de comunicación en cada uno de los módulos inalámbricos, de manera que todos reciban la información generada por cada nodo sensor y el nodo central, pero solamente se procesa la trama si tiene de cabecera el identificador correspondiente a cada nodo, ya que por ser una red de tipo malla la información se envía en “broadcast”, se logró la estabilidad en la comunicación de la red basándonos en el protocolo de acceso compartido al medio CSMA/CD para evitar colisiones.
3. Se implementó un Hardware básico usando la tarjeta DE2-115 de Altera que puede ser usado como guía para futuras mejoras como: detectar cuando uno de los nodos de la red no está operativo, agregar algún otro tipo de nodo como medidor de PH del suelo, entre otras funcionalidades, por lo tanto se puede concluir que se consiguió un sistema adaptable y eficiente con posibilidades de emplear su capacidad y funcionalidad en diseños futuros.
4. Los nodos diseñados para la red inalámbrica satisfacen las expectativas para el sistema de monitoreo de un invernadero, ya que comparados con diseños similares que ya se encuentran en el mercado tienen un margen de error del 3 – 5%.
5. Se lograron cumplir los aspectos sobresalientes de una red inalámbrica de sensores en la implementación ya que el sistema tiene un bajo consumo de energía al trabajar con una batería de 9V, es de fácil instalación e interacción con el usuario, puede ser utilizado en el exterior e interior ya que posee gran movilidad.

6. En la actualidad todas las empresas de cualquier sector productivo se basan en un registro histórico de datos para poder medir los índices de producción y mediante el estudio de los mismos generar mejoras en cuanto a la misma. Nuestro proyecto está dirigido al sector agrícola, sector en el cual los factores más importantes para la producción son la temperatura y humedad de las plantas, para esto creamos un archivo .xls en el cual se encuentran documentados los movimientos a lo largo del día donde se registran los valores, y mediante dichos datos poder generar una curva para facilitar el estudio del monitoreo de la producción del cultivo.

### 6.2 Recomendaciones

1. Se recomienda revisar los diagramas esquemáticos de la tarjeta DE2-115 en el momento de conectar algún dispositivo externo para evitar problemas de conexión, daños en los módulos integrados a la tarjeta y sobre todo para evitar algún daño permanente que deje inutilizable por completo la tarjeta de desarrollo DE2-115.
2. Verificar la hoja técnica de cualquier dispositivo externo a usar en el proyecto, como es el caso del módulo inalámbrico Xbee, Microcontrolador PIC16F887, entre otros elementos usados en la implementación de la Red de Sensores Inalámbricos, para evitar daños por algún voltaje mal establecido.
3. Se recomienda usar un software de ayuda para poder visualizar la comunicación entre módulo y la tarjeta a la hora de realizar el proyecto, de esta forma se puede apreciar los errores de programación y cualquier mal configuración de los módulos y evitar la posibilidad de que exista una comunicación errónea entre ellos.
4. Para poder evitar la colisión en el envío y recepción de datos de cada uno de los módulos sensores se los programó de manera tal que exista un carácter de confirmación de envío, recepción y de espera para que se puedan sincronizar y no se pierda la conexión entre ellos y la tarjeta de desarrollo DE2-115.
5. Al momento de configurar los pines de expansión de la tarjeta DE2-115 de Altera es muy importante tener en cuenta la hoja de especificaciones de cada uno de los pines para poder utilizarlos como entrada, salida o alimentación del circuito o elemento a incorporar a la tarjeta.

## 6. Bibliografía

- [1]. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, Comunicación a través del Protocolo Zigbee con NIOS II, <http://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/19095/1/Paper%20Jativa-Cabello.pdf>.
- [2]. Casadomo, HomePlug y ZigBee, <http://www.casadomo.com/noticiasDetalle.aspx?id=7123&c=6>.
- [3]. Wikipedia, Invernaderos, <https://es.wikipedia.org/wiki/Invernadero>.