



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO

Trabajo Terminal

“Prototipo de aplicación para la detección de deficiencia
de nutrientes en cultivos de hidroponía”

2017-A054



Presenta:

Edgar Rodrigo Arredondo Basurto

Directores:

Ing. Eduardo Gutiérrez Aldana

Dr. José Félix Serrano Talamantes



Noviembre de 2017



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE CÓMPUTO
SUBDIRECCIÓN ACADÉMICA



No de TT:2017-A054

7 de noviembre de 2017

Documento técnico

“Prototipo de aplicación para la detección de deficiencia de nutrientes en cultivos de hidroponía”

2017-A054

Presenta:

Edgar Rodrigo Arredondo Basurto¹

Directores:

Ing. Eduardo Gutiérrez Aldana

Dr. José Félix Serrano Talamantes

RESUMEN

El objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo de aplicación de visión por computadora que tome como entrada imágenes de hojas de cultivos con una enfermedad visible y como resultado se obtiene un probable diagnóstico de la enfermedad de la planta, bajo ciertas restricciones de plantas y nutrientes. Es así que en este documento se definen y diseñan las diferentes etapas que requiere este prototipo para su implementación.

Palabras clave: Clasificador, descriptor, detección de objetos, segmentación.

¹edgar_arredondo@outlook.com

I. Resumen

El objetivo de este proyecto es desarrollar un prototipo de aplicación de visión por computadora que analice imágenes de hojas de cultivos que presenten síntomas visibles de alguna deficiencia. Como resultado se obtiene un probable diagnóstico del nutriente deficiente en la planta.

Es así como en este documento se definen y diseñan las diferentes etapas que requiere este prototipo para su implementación.

En el capítulo 1 se presenta una breve introducción en la que se explica el contexto de este proyecto y la motivación que dio origen a su desarrollo. Además, se definen los objetivos para la etapa de diseño del prototipo.

En el capítulo 2 se exponen algunos fundamentos teóricos útiles para entender de mejor forma el funcionamiento de una de las etapas fundamentales del prototipo, que es la detección de objetos durante la etapa de segmentación. En esta etapa se aíslan las hojas del resto de la imagen, ya que son los objetos que contienen la información útil para esta aplicación.

Inmediatamente después, en el capítulo 3 se abordan las etapas de captura de la imagen y segmentación. Aquí se definen el tipo de objetos a capturar y ciertas restricciones que debe tener la imagen que el usuario proporciona, como la especie de planta, el contenido de la imagen y la posición de las hojas dentro de la imagen. En la segmentación se presenta el método de detección de objetos seleccionado.

En el capítulo 4 se presenta lo relacionado a la clasificación de los objetos, incluyendo la selección del descriptor y el algoritmo de clasificación. En este capítulo se delimita cuáles son los nutrientes por identificar por este prototipo, siendo estos el potasio, nitrógeno, azufre y magnesio.

Finalmente, en el capítulo 5 se aborda el tema de las herramientas y lenguaje de programación para implementar el prototipo. Todas las etapas relacionadas a la visión por computadora se desarrollarán con el apoyo de la biblioteca de OpenCV la cual ofrece soporte para C++, java y python.

II. Abstract

The purpose of this project is the developing of a computer vision application that analyze plant leaves images with a visible disease. As the result, the application gives a probably diagnostic of the plant disease.

In this document are defined and designed the different phases that this prototype needs for its implementation.

In the chapter 1 is presented a brief introduction where is explained the context of this project and the motivation behind the its development. Also, the objectives for the design phase are presented.

In the chapter 2 is found the theoretical framework the object detection topic is discussed. The object detection is required in the segmentation step, where the leaves are separated from the background of the image, because the leaves contains the useful information for the next steps of the application.

In the chapter 3 are discussed the image capture and segmentation steps. In this chapter are defined the object type to capture and some restrictions about the captured image, such as the plant species, the image's contents and the position of the leaves inside the image. In the segmentation section is presented the object detection method chosen.

In the chapter 4 is presented the feature descriptor and the image classifier. Also, in this chapter is defined the deficiencies to detect in the images, which are the potassium, nitrogen, sulfur and magnesium deficiencies, by reasons that are discussed in that section.

Finally, in the chapter 5 are discussed the developing tools and the programming language for the implementation. All the steps related to computer vision are going to be developed with the support of the OpenCV library, which support the C++, java and python languages.

III. Índice general

I. Resumen.....	3
II. Abstract.....	4
III. Índice general	5
Capítulo 1. Introducción	6
1.1 Objetivos.....	9
1.1.2 Objetivo general.....	9
1.1.3 Objetivos particulares.	9
1.2 Justificación.....	9
1.3 Trabajo propuesto.....	10
Capítulo 2. Marco teórico	12
2.1 Detección de objetos mediante visión por computadora.....	12
2.1.1 Detección de objetos Viola-Jones	12
2.1.2 Clasificación SVM con descriptores de histogramas de gradientes orientados (HOG)	14
Capítulo 3. Captura y segmentación de la imagen.	15
3.1 Imagen adquirida	16
3.2 Segmentación	18
Capítulo 4. Extracción de descriptores y clasificación.....	21
4.1 Selección de descriptores.....	22
4.2 Clasificador	23
Capítulo 5. Implementación.....	25
5.1 Lenguaje de programación.....	25
5.2 Arquitectura del sistema.....	26
5.3 Diseño de la aplicación.....	28
Referencias.....	30

Capítulo 1.

Introducción.

La hidroponía es la técnica de producción intensiva de plantas, que se caracteriza por abastecer el agua y los nutrientes de manera controlada y de proporcionar a las plantas los elementos nutritivos en las concentraciones y proporciones más adecuadas, a través de una solución de elementos esenciales, como son nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, etc. Para su aplicación se utilizan sustratos inertes diferentes al suelo a los que se les adiciona en forma constante una solución nutritiva, preparada a partir de fertilizantes comerciales; con esto se logra un medio que proporciona las condiciones físicas, químicas y sanitarias más adecuadas para el desarrollo de los cultivos.

La hidroponía ha sido utilizada en forma comercial desde hace 50 años y se ha adaptado a diferentes situaciones, tanto con cultivos al aire libre como bajo condiciones de invernadero. Este sistema de producción es importante porque permite cultivar especies para el consumo humano en regiones donde no existen tierras de cultivo, sobre concreto o en pequeñas superficies protegidas o no protegidas [1].

La solución nutritiva es una parte fundamental de un sistema de hidroponía, ya que básicamente es la que sustituye los nutrientes que las plantas obtienen del suelo. Si existe una deficiencia de algún nutriente en la solución, se genera una anormalidad dentro de la estructura fisiológica de la planta, dando como resultado plantas enanas, poco follaje, tallos flácidos, la pérdida de flores o frutos, entre otros.

Generalmente las hojas de la planta son las primeras en mostrar los síntomas de una deficiencia de nutrientes. Estas suelen presentar un cambio de coloración que corresponde con la deficiencia de algún nutriente. En general, una deficiencia de algún nutriente se manifiesta con síntomas distintos para diferentes especies de plantas. Por esta razón, para realizar un diagnóstico correcto, previo a analizar los síntomas, debe conocerse la especie de la planta que los padece. En particular, para una planta de tomate los síntomas de deficiencia de potasio, nitrógeno, azufre y

fósforo se manifiestan de la siguiente forma. una planta con deficiencia de potasio presenta una coloración amarilla que se genera en el borde de las hojas, seguido de una desecación conforme avanza la deficiencia [2] (Figura 1.1).

1. Potasio. Las hojas de la planta presentan una coloración amarilla que se genera en el borde y se expande hacia el centro conforme avanza la deficiencia. También la hoja suele secarse en las partes afectadas [2] (Ver figura 1.1).
2. Nitrógeno. Las hojas son pequeñas y verde claro a amarillas cuando el nitrógeno es deficiente. Los síntomas aparecen antes en las hojas viejas y progresivamente en las nuevas. Con una deficiencia grave las hojas viejas se vuelven completamente amarillas o cafés antes de caerse de la planta [4] (Ver figura 1.2).
3. Azufre. La deficiencia de azufre tiene un aspecto parecido a la deficiencia de nitrógeno, sin embargo, comienza en las hojas más jóvenes porque el azufre no es tan móvil dentro de la planta como el nitrógeno [4] (Ver figura 1.3).



Figura 1.1 Síntomas de deficiencia de potasio en una planta de tomate [3].

4. Magnesio. Los síntomas de deficiencia de magnesio comienzan en las hojas viejas. Muestran clorosis¹ entre los nervios en los bordes de la hoja cubierta por puntos necróticos² blanquecinos. Si la deficiencia es grave, la clorosis entre los nervios progresa desde los bordes a la mitad de la hoja. Los nervios se mantienen verde oscuro al principio. La necrosis se hace más

¹ Clorosis. Amarilleo de las partes verdes de una planta debido a la falta de actividad de sus cloroplastos.

² Necrosis. Degeneración de un tejido por muerte de sus células.

grande. Consecuentemente las hojas enteras amarillean y finalmente las más viejas mueren. En este caso el crecimiento se ve gravemente alterado y se reduce el rendimiento en frutos [4] (Ver figura 1.4).

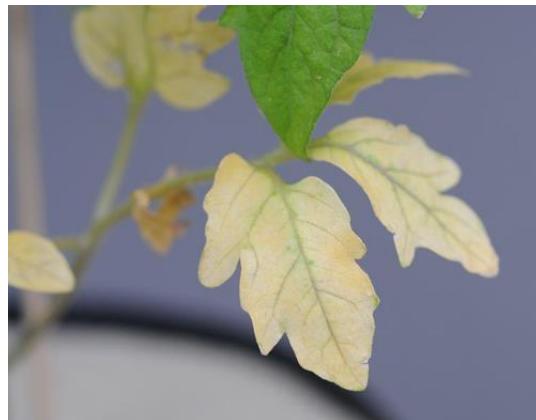


Figura 1.2 Síntomas de deficiencia de nitrógeno en una planta de tomate [4].



Figura 1.3 Síntomas de deficiencia de azufre en una planta de tomate [4].



Figura 1.4 Síntomas de deficiencia de magnesio en una planta de tomate [4].

El prototipo propuesto tiene como finalidad ayudar al agricultor a diagnosticar una deficiencia de potasio, nitrógeno, azufre o magnesio. De esta forma, los síntomas eventualmente desaparecerán y la planta volverá a un estado saludable.

1.1 Objetivos.

Los objetivos a continuación expuestos corresponden principalmente al diseño del prototipo, acciones que son correspondientes a Trabajo Terminal I, en acuerdo a la planificación propuesta.

1.1.2 Objetivo general.

Diseñar y desarrollar el prototipo de una aplicación de visión por computadora que analiza imágenes de hojas con una anomalía visible y realiza un diagnóstico de una posible deficiencia de potasio, en un subconjunto definido de plantas.

1.1.3 Objetivos particulares.

- Definir y diseñar el proceso de segmentación, en el que deben identificarse las hojas de la planta, sin considerar restricciones en el fondo de la imagen.
- Definir los descriptores adecuados para la clasificación de las hojas y diseñar el método de extracción de los mismos.
- Análisis y selección del lenguaje y entorno de desarrollo de la aplicación para el usuario.

1.2 Justificación.

La importancia de la hidroponía radica en que permite cultivar especies para el consumo humano en regiones donde no existe suelo, sobre concreto o en pequeñas superficies protegidas o no protegidas. Para obtener cultivos de calidad, es necesario proporcionar la cantidad adecuada de nutrientes a las plantas, ya que una deficiencia en cualquier nutriente puede generar anomalías en su desarrollo.

Cuando una anormalidad en la planta es detectada, es necesaria corregirla lo más pronto posible para que la planta continúe con el desarrollo normal. Sin embargo, el detectar qué nutriente es el que le hace falta a la planta no es una cuestión inmediata para cualquier persona, ya que se requiere de cierto nivel de experiencia para determinarlo con solo observar los síntomas.

Actualmente ya existen aplicaciones que pueden ayudar al agricultor en esta tarea, sin embargo, algunas dan resultados rápidos pero que pueden ser imprecisos o no corresponder completamente con el problema real ya que solo incluyen guías generales para la identificación de deficiencias. Otras dan resultados más precisos pero pueden demorar bastante tiempo, el necesario para que un experto consulte el problema, lo diagnostique y de la solución.

La aplicación propuesta pretende reunir lo mejor de las aplicaciones anteriores; ofrecer resultados con un nivel alto de efectividad en un tiempo razonablemente corto. Esto se logra desarrollando la aplicación para una especie de planta en particular (tomate), para un subconjunto de nutrientes y con algoritmos de análisis de imágenes.

Si bien el prototipo propuesto aborda solo una parte del problema del reconocimiento de deficiencias de nutrientes en los cultivos de hidroponía, tiene la intención de desarrollar las bases de una aplicación más robusta en la que se combine la funcionalidad ofrecida, con una etapa de reconocimiento de plantas, de tal forma que el problema de la manifestación de diferentes síntomas para una misma deficiencia de nutrientes en distintas especies de plantas ya no represente un inconveniente.

1.3 Trabajo propuesto.

Para el desarrollo de este proyecto se propone la realización de tres prototipos (ver figura 1.5). El primero de ellos está formado por las etapas funcionales de captura de la imagen y segmentación; cuyo objetivo final es la detección de las hojas en la imagen. El segundo prototipo está formado por las etapas funcionales de la extracción de descriptores y el algoritmo clasificador y su objetivo es determinar a qué clase pertenece la hoja analizada (hoja sana, hoja con alguna de las deficiencias mencionadas u hoja con una deficiencia de nutriente no identificado). Por último, el

objetivo del tercer prototipo es colocar los prototipos uno y dos dentro de un contexto que resulte útil al usuario.

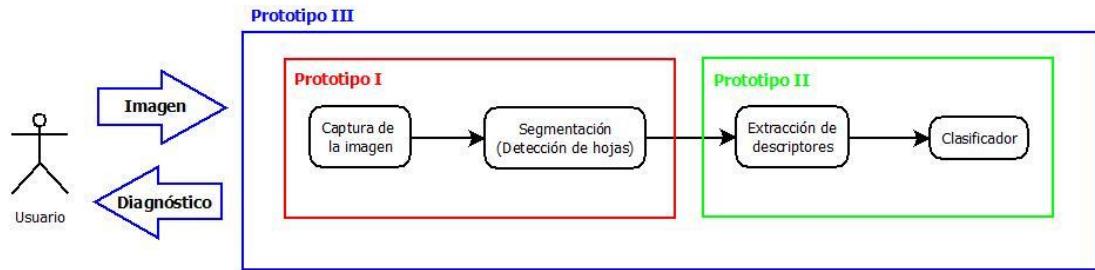


Figura 1.2 Metodología de desarrollo propuesta.

El análisis y diseño de cada prototipo se abordan en los capítulos tres, cuatro y cinco de este documento.

Capítulo 2.

Marco teórico.

El componente principal de este proyecto es el sistema de visión por computadora cuyo objetivo es detectar y diagnosticar una posible deficiencia de nutrientes. Este componente está dividido a su vez en las etapas de adquisición de la imagen, segmentación en regiones de interés (hojas de la planta), extracción de descriptores y clasificación. A continuación, se presenta información referente a estas etapas.

2.1 Detección de objetos mediante visión por computadora.

La detección de objetos es el proceso de encontrar instancias de objetos de la realidad tales como rostros, edificios, autos, señales de tránsito, etc., en imágenes o videos. Los algoritmos de detección de objetos generalmente usan características extraídas de la imagen junto con algoritmos de aprendizaje automático para reconocer instancias de alguna categoría de objetos [5]. En los párrafos siguientes se abordan algunos de estos algoritmos para la detección de objetos.

2.1.1 Detección de objetos Viola-Jones

El algoritmo de Viola-Jones es un método de detección de objetos que se usa ampliamente en la detección de caras en imágenes y video, sin embargo, puede usarse para la detección de otras clases de objetos. En este algoritmo existen tres ingredientes en concreto que permiten una rápida y precisa detección: la imagen integral para la computación de los descriptores, el algoritmo de aprendizaje AdaBoost³para la selección de los descriptores y una cascada atencional [6].

³ AdaBoost (Adaptive boosting). Algoritmo de aprendizaje desarrollador por Yoav Freund y Robert Schapire.

El algoritmo Viola-Jones usa descriptores Haar-like, que son la multiplicación escalar entre la imagen y unas plantillas Haar-like (Figura 2.1).

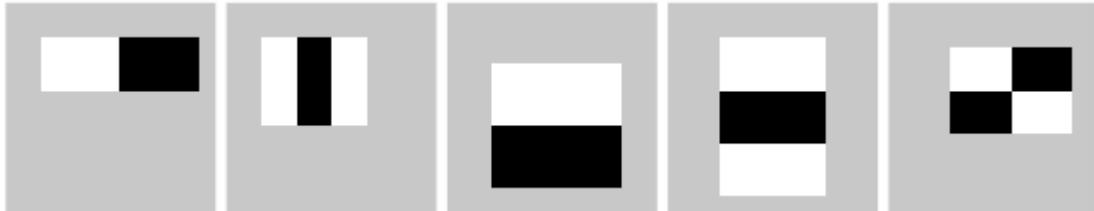


Figura 2.1 Cinco tipos de plantillas Haar-like.

Para el cálculo de los descriptores resulta bastante útil la imagen integral. La imagen integral en la posición (x,y) está definida como la suma de la intensidad de los pixeles que se encuentran arriba y a la izquierda del pixel (x,y) de forma inclusiva (Figura 2.2).

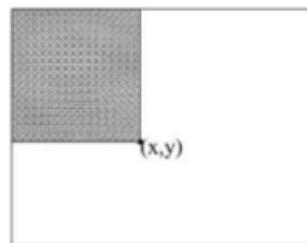


Figura 2.2 Representación esquemática del cálculo de la imagen integral.

Los pasos generales de este algoritmo son los siguientes:

1. Obtener los descriptores Haar-like de un conjunto predefinido de muestras positivas y negativas del objeto de interés.
2. Seleccionar únicamente los descriptores con un significado útil empleando el algoritmo AdaBoost
3. Entrenar un clasificador en cascada con los descriptores seleccionados, tanto del conjunto de muestras positivas como negativas.
4. El clasificador está ahora entrenado y listo para ser aplicado al conjunto de imágenes de prueba.

2.1.2 Clasificación SVM con descriptores de histogramas de gradientes orientados (HOG)

HOG es un descriptor de la imagen que utiliza el gradiente en cada uno de los píxeles como información básica. El clasificador en este método de detección de objetos es una Máquina de Vectores de Soporte (SVM por sus siglas en inglés). Este clasificador es entrenado con muestras de dos clases distintas y entonces es capaz de decidir a qué clase pertenece una nueva muestra. Un clasificador SVM con descriptores HOG pueden ser usados para la detección de objetos mediante el siguiente algoritmo [7]:

1. Obtener P muestras positivas del objeto de interés que se quiere detectar y extraer los descriptores HOG de esas muestras.
2. Obtener N muestras negativas que no contengan nada del objeto a detectar y extraer los descriptores HOG de esas muestras. En general se considera que $N >> P$.
3. Entrenar un clasificador SVM con las muestras positivas y negativas.
4. Aplicar *hard-negative mining*, esto es desplazar desde la esquina superior derecha de la imagen una ventana hacia la derecha y hacia abajo de la imagen, y en cada punto computar los descriptores HOG y aplicar el clasificador. Si el clasificador da como resultado un falso positivo, es decir, detecta un objeto donde en realidad no se encuentra guardar la muestra dentro de la ventana. Al terminar volver a entrenar la SVM agregando al conjunto de muestras negativas las nuevas muestras correspondientes a los falsos positivos.
5. El clasificador está ahora entrenado y listo para ser aplicado al conjunto de imágenes de prueba.

Capítulo 3.

Captura y segmentación de la imagen.

Estas dos etapas corresponden al primer prototipo planteado en la introducción (ver figura 3.1). El objetivo en estas primeras etapas de la aplicación es la obtención de una imagen que cumpla con ciertas características, de forma tal que resulte útil y facilite la ejecución de las etapas posteriores; así como la segmentación de la imagen en regiones de interés, siendo estas regiones las hojas de la planta. A continuación, se muestra una lista de los requisitos que corresponden a estas dos etapas.

1. Eliminar el posible ruido presente en la imagen.
2. Mejorar el contraste de la imagen en escala de grises para resaltar la diferencia entre las zonas oscuras y las brillantes.
3. Identificar y separar del resto de la imagen las hojas de la planta.

En las siguientes secciones se abordan las propuestas para cumplir con los requisitos anteriores.

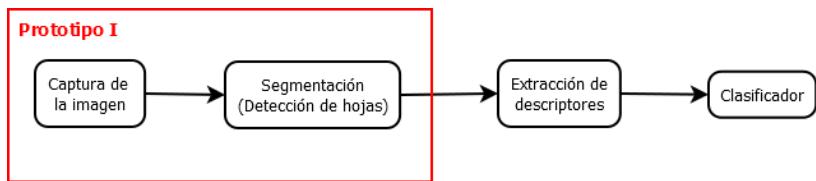


Figura 3.1 Etapas del primer prototipo.

Respecto de las hojas, que son las que contienen la información útil para identificar la deficiencia, esta aplicación está diseñada para la planta de tomate, por lo que las hojas a detectar deben tener la forma de hoja característica de esta planta (Ver figura 3.2).



Figura 3.2 Forma de las hojas de una planta de tomate.

3.1 Imagen adquirida

Es un error bastante común, y muy costoso, asumir que cualquier defecto en la imagen puede ser corregido mediante algoritmos de tratamiento de imágenes, lo cual en ciertos casos, que dependen del tipo y grado del defecto, es correcto, sin embargo esto implica tiempo de cómputo que puede incrementar considerablemente el tiempo de respuesta del sistema.

Por lo tanto, adquirir una imagen que cumpla con ciertas condiciones de iluminación, enfoque y/o posición puede ayudar en gran medida a facilitar la obtención de resultados esperados por parte de la aplicación.

En muchas aplicaciones de visión por computadora se restringe el entorno en el que se captura la imagen, por ejemplo, con compartimentos cerrados con una iluminación controlada y la posición de la cámara fija.

En el prototipo a desarrollar en este proyecto el usuario debe proporcionar al sistema una imagen de su planta con síntomas de una deficiencia, y conociendo el entorno en el que se desarrolla la hidroponía, es difícil solicitar al usuario que su imagen cumpla con cierto nivel de iluminación en el momento en que sea capturada.

En cambio, es más sencillo solicitar que es lo que la imagen debe contener y en qué posición.

Es así como las restricciones que la imagen de entrada tiene son las siguientes.

1. La imagen debe contener preferentemente una sola de las hojas de la planta que presenten alguna anomalía.

2. La hoja capturada debe encontrarse preferentemente en el centro de la imagen y en un ángulo normal (durante la captura, la cámara debe estar paralela a la superficie de la hoja) de forma tal que pueda visualizarse la superficie de la hoja de forma completa.

La primera restricción reduce el tiempo de cómputo de la detección de la deficiencia, ya que basta con una sola hoja que presente los síntomas para realizar el análisis y el diagnóstico. En el caso de capturarse más hojas, es posible que no todas presenten los síntomas. Sin embargo, todas las hojas serían detectadas por el algoritmo de detección de objetos (ver sección 3.2) y se iniciaría la clasificación de cada una. El diagnóstico se obtendría después de clasificar la primera hoja con síntomas de una deficiencia, la cual no necesariamente es la primera hoja clasificada.

La segunda restricción ayuda al proceso de segmentación que, como se verá en la siguiente sección, consiste en un algoritmo de detección de objetos. El algoritmo es alimentado con un conjunto de muestras de hojas. Si se captura una hoja de forma parcial, es muy probable que el algoritmo no detecte la hoja.

Cabe mencionar que ambas restricciones tienen la intención de mejorar la efectividad del sistema, es decir, elevar la probabilidad de detectar y clasificar correctamente una hoja. De esta forma, el usuario puede proporcionar imágenes que no cumplan ambas restricciones, sin embargo, la probabilidad de un correcto diagnóstico puede verse reducida.

Un ejemplo de una imagen que cumple con ambas restricciones se muestra en la figura 3.3 [8].



Figura 3.3 Ejemplo de captura de hoja enferma.

Posterior a esto existe una etapa de preprocesamiento de la imagen, en la que se mejoran algunas de sus características, tales como el contraste, antes de comenzar con las etapas de segmentación y clasificación. La etapa de procesamiento tiene el objetivo de evitar errores en las etapas siguientes. Las acciones para mejorar la calidad de la imagen son:

1. El suavizado de la imagen mediante un filtro espacial.
2. Mejorar el contraste de la imagen.

La primera acción elimina el posible ruido presente en la imagen, mientras que la segunda ayuda a resaltar la diferencia entre las zonas oscuras y brillantes de la imagen. El objetivo de estas dos acciones es facilitar la realización de la etapa de segmentación, que se describe a continuación.

3.2 Segmentación

El proceso de segmentación consiste en obtener únicamente la información que resulta útil de la imagen, y lo demás descartarlo, siendo en este proyecto la hoja de la planta el objeto que contiene la información útil y el resto de la imagen termina siendo irrelevante (ver figura 3.4).

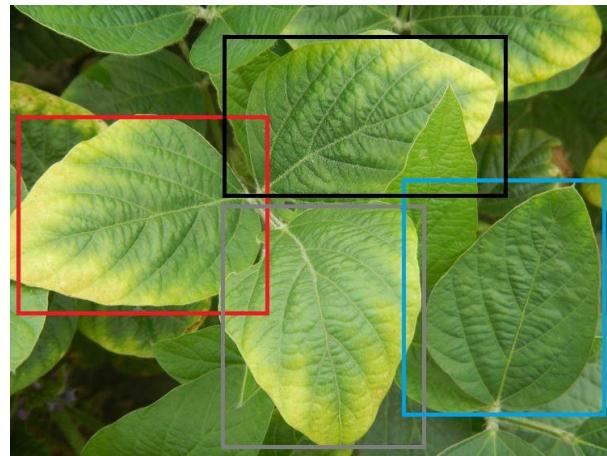


Figura 3.4 Detección de hojas.

Es así que la segmentación se convierte en un problema de detección de objetos, en este caso hojas. Como se describió en el marco teórico existen diversas metodologías y algoritmos para la detección de objetos en imágenes, siendo los dos que se abordaron, de forma general, el algoritmo de Viola-Jones basado en descriptores Haar-like y la clasificación SVM con descriptores HOG.

Sin embargo, el algoritmo de Viola-Jones presenta una serie de inconvenientes. Suele presentar constantemente falsos positivos o el caso contrario, no detectar un objeto que si se encuentra en la imagen. Para evitar esto se deben usar unos conjuntos bastante grandes de imágenes de muestra para entrenar el clasificador.

En cambio, el uso de descriptores HOG para la descripción de objetos es bastante usado y con muy buenos resultados. El método del Histograma de Gradientes Orientados sugerido por Dalal and Triggs en el 2005 en el artículo *Histograms of Oriented Gradients for Human Detection* demostró que el descriptor HOG junto con una Máquina de Vectores de Soporte (SVM) lineal puede ser usada para entrenar clasificadores de objetos altamente precisos.

Por estas razones se optó por la implementación de un detector de hojas mediante descriptores de histograma de gradientes orientados. Esto será desarrollado usando como apoyo la biblioteca de OpenCV.

Una vez identificadas las hojas de las plantas es posible comenzar con la selección y extracción de descriptores, y cuyo análisis permite determinar si la hoja

está sana o tiene alguna deficiencia de nutrientes, y en este último caso si se trata de que nutriente se trata. Esto se aborda en los siguientes capítulos.

Capítulo 4.

Extracción de descriptores y clasificación.

La extracción de descriptores y clasificación corresponden a las etapas funcionales del prototipo dos propuesto (ver figura 4.1), el cual tiene por objetivo clasificar los objetos segmentados del prototipo uno en clases que permitan identificar la deficiencia de nutriente en la planta.

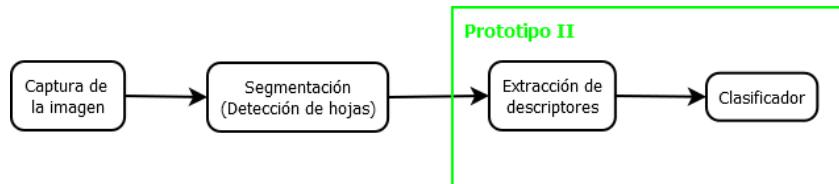


Figura 4.1 Etapas del segundo prototipo.

Este prototipo ayuda a diagnosticar deficiencias de un subconjunto definido de nutrientes, siendo estos potasio, nitrógeno, azufre y magnesio, ya que son las deficiencias que presentan síntomas diferenciables a partir del análisis visual. El resto de deficiencias de nutrientes suele ser difícil de diagnosticar mediante técnicas visuales debido a la gran similitud de sus síntomas. Incluso en el caso del nitrógeno y el azufre los síntomas visuales, son bastante similares. La forma de diferenciarlos es considerando el tipo de hoja que presenta la deficiencia, es decir, si es una hoja joven (de la parte alta de la planta) o es una hoja vieja (de la parte inferior de la planta). En este último caso, el usuario deberá complementar el diagnóstico indicando el tipo de hoja que presenta los síntomas.

Es así como las categorías o clases posibles de clasificación son hoja sana, hoja con deficiencia de potasio, hoja con deficiencia de magnesio, hoja con deficiencia de nitrógeno/azufre y hoja con una deficiencia de nutriente no identificada. En el caso de que una hoja sea clasificada en la clase nitrógeno/azufre, para discernir entre ambos nutrientes, el resultado de la clasificación será complementado con el dato sobre el tipo de hoja (hoja joven u hoja vieja).

Para poder realizar la etapa de clasificación, es necesario que una vez segmentada la hoja, se extraigan ciertas características de la hoja que permitan clasificarla en alguna de las categorías mencionadas.

4.1 Selección de descriptores

Un descriptor es un valor numérico que representa una característica particular del objeto, y que ayuda a diferenciar un objeto de otro. En este proyecto se requiere uno o más descriptores que permitan diferenciar una hoja sana de una hoja con alguna de las deficiencias del subconjunto de nutrientes seleccionado.

Los descriptores propuestos en este proyecto para diferenciar entre objetos son los descriptores definidos por Haralick [9]. Estos descriptores son un conjunto de medidas de textura basadas en la matriz de co-ocurrencia Tienen su fundamento en las relaciones espaciales que se dan entre los distintos niveles de gris de un objeto en una imagen. Las catorce medidas estadísticas que Haralick describió son:

1. Segundo momento angular
2. Contraste
3. Correlación
4. Varianza
5. Momento de diferencias inverso
6. Suma de promedios
7. Suma de varianzas
8. Suma de entropías
9. Entropía
10. Diferencia de varianzas
11. Diferencia de entropías
12. Medida de correlación 1
13. Medida de correlación 2
14. Máximo coeficiente de correlación

Sin embargo, dependiendo de la aplicación, las catorce medidas no son absolutamente necesarias, sino únicamente aquellas que aporten un carácter discriminador entre los objetos. De hecho, las tres más ampliamente utilizadas son el segundo momento angular, el contraste y la correlación.

Con el fin de identificar los descriptores de Haralick que ofrecen mayor capacidad de discriminante entre las deficiencias de nutrientes, se realizará un análisis estadístico de los descriptores mediante la técnica de la matriz de correlación. De esta forma se conocerán los descriptores que ayudan a diferenciar entre deficiencias de nutrientes.

4.2 Clasificador

Una vez definido el descriptor y conociendo la forma de calcularlo, puede usarse para clasificar el objeto en las categorías predefinidas. El algoritmo que realiza tal tarea es llamado clasificador.

Antes de usar un clasificador es necesario contar con un conjunto predefinido de objetos de cada clase con su respectivo descriptor. De esta forma, mediante alguna técnica el clasificador decide cual es la clase a la que pertenece el objeto a clasificar. Los siguientes son ejemplos de clasificadores y se incluye una pequeña descripción de su método de decisión.

1. Clasificador de la distancia mínima. Calcula el centroide de los representantes de cada clase, posteriormente calcula la distancia del objeto a clasificar al centroide de cada clase y lo clasifica en aquella clase con la distancia mínima.

2. Clasificador de la máxima probabilidad. Emplea una función de densidad de probabilidad para calcular la probabilidad de que el objeto pertenezca a cada clase y lo clasifica en aquella con la máxima probabilidad. Requiere el cálculo de parámetros como la media y la varianza de cada clase.

3. Clasificador knn. Considera los k-vecinos más cercanos al objeto. Aquella clase con más representantes dentro de esos k-vecinos es a la que es asignado el objeto a clasificar.

La elección del clasificador depende de la aplicación. La forma en que se tomará esta decisión será midiendo la eficiencia de cada uno de ellos. Este procedimiento consiste en considerar como el objeto a clasificar a cada uno de los

representantes de las clases y verificando si el clasificador lo asigna a la clase a la que en realidad pertenece. Un clasificador con 100% de eficiencia es aquel que clasifique de forma correcta todos los representantes en sus clases correspondientes. El clasificador con mayor eficiencia será el que será usado en la aplicación final.

Capítulo 5.

Implementación.

El prototipo tres es el último de este proyecto, por lo cual su objetivo es presentar la funcionalidad de los dos prototipos anteriores en un contexto que resulte adecuado para el usuario (ver figura 5.1).

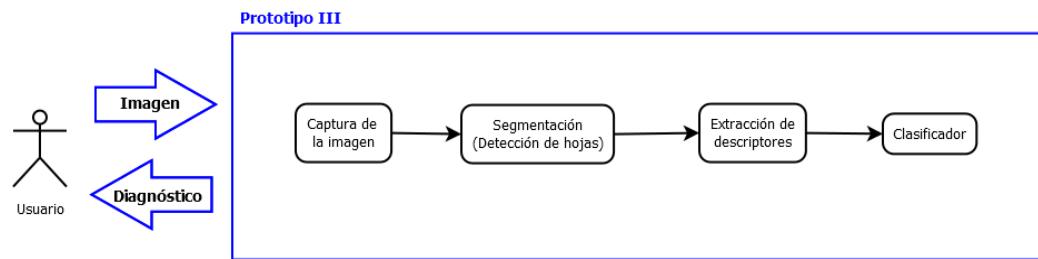


Figura 5.1 Prototipo tres.

5.1 Lenguaje de programación

La herramienta de apoyo para la implementación del sistema de visión por computadora, incluyendo los algoritmos antes mencionados, es la biblioteca de OpenCV.. Sin embargo, el sistema de visión por computadora debe complementarse con una interfaz para el usuario en la que pueda realizar pruebas con el prototipo.

OpenCV ofrece soporte para Java, Python y C++. En aplicaciones de alto desempeño, como puede ser este caso, no hay duda que C++ es la mejor opción. Sin embargo, en cuanto a facilidad de implementación C++ resulta frecuentemente más complicado.

Para decidir en qué lenguaje de programación se va a desarrollar la aplicación es necesario considerar el tiempo de respuesta de las implementaciones de los algoritmos de OpenCV en los tres lenguajes de programación mencionados. Con estos datos puede analizarse la diferencia de desempeño y considerando un tiempo de

respuesta total razonable, decidir si es factible una implementación en Java o Python, o en cambio, debe realizarse en C++.

OpenCV cuenta con una implementación de un clasificador SVM que es entrenado a partir de descriptores HOG. A su vez también cuenta con los descriptores de cientos de rostros concentrados en una archivo xml. El tiempo de ejecución de esta implementación resulta un parámetro útil para la selección del lenguaje de programación, ya que el algoritmo y el descriptor son los mismo que van a emplearse en la detección de hojas, la diferencia radica en los datos numéricos de entrada, y en consecuencia, el tipo de objeto detectado. En la tabla 5.1 se muestra una comparativa del tiempo promedio de ejecución del programa de identificación de personas ya implementado en OpenCV en los tres lenguajes de programación mencionados. Las tres implementaciones fueron ejecutadas en la misma computadora con la misma imagen.

Lenguaje de programación	Java	Python	C++
Tiempo de respuesta [ms]	188.8	195.58	112.48

Tabla 5.1 Comparativa en el desempeño de un mismo detector de objetos implementado en diferentes lenguajes de programación.

De la tabla 5.1 se puede concluir que la implementación en C++ es la que ofrece un mejor desempeño y en comparación con ella, las implementaciones de java y python tardan un setenta por ciento más aproximadamente.

De esta forma, se selecciona C++ como lenguaje de desarrollo, buscando el mejor rendimiento posible de la aplicación y teniendo en cuenta la nueva funcionalidad que pueda introducirse al sistema y que pueda impactar en el rendimiento.

5.2 Arquitectura del sistema

Para la implementación y presentación del prototipo propuesto se tienen las siguientes alternativas.

- Aplicación de escritorio.
- Aplicación móvil.

- Aplicación web.

La tendencia actual va hacia abandonar las aplicaciones de escritorio, ya que resultan más accesibles a los usuarios las aplicaciones web o móviles. La selección entre una aplicación web o móvil, entre otros factores, está determinada por los recursos que el dispositivo necesite para ejecutar la aplicación correctamente; un dispositivo móvil generalmente tiene recursos más limitados que un servidor web.

Únicamente la funcionalidad propuesta en este proyecto puede considerarse ser implementada dentro de una aplicación móvil; sin embargo, teniendo en mente que el diseño debe estar enfocado para agregar más funcionalidad con el objetivo final de contar con un sistema robusto que no tenga restricciones de especies de plantas o de deficiencias de nutrientes a identificar, resulta más conveniente implementar el sistema de visión por computadora en un servidor web. De esta forma no se excluye a los dispositivos móviles, ya que pueden acceder a la interfaz web desde su navegador, o incluso, en un trabajo a futuro, desarrollar una aplicación móvil la cual se conecte al servidor web para obtener los diagnósticos.

Es así como la presentación de este prototipo será un servidor que se instalará en una máquina en una red lan, de forma tal que equipos dentro de la red puedan conectarse al servidor a través de una interfaz web. A través de esta interfaz el usuario puede enviar la imagen de la planta enferma y obtener el diagnóstico correspondiente. Lo anterior se muestra de forma esquemática en la figura 5.2. Las peticiones entre cliente y servidor serán peticiones Ajax.

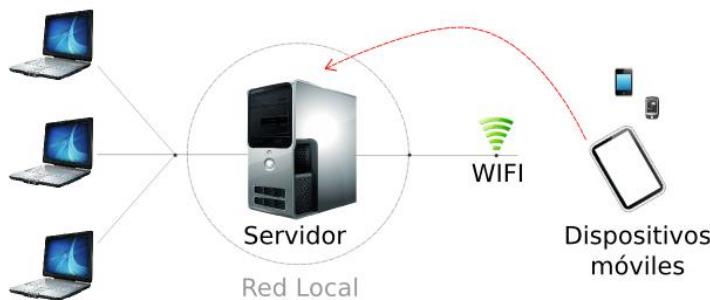


Figura 5.1 Arquitectura del sistema.

5.3 Diseño de la aplicación.

Desde el punto de vista del usuario, la aplicación le permitirá hacer las siguientes acciones. Seleccionar una imagen desde su dispositivo y obtener el diagnóstico de enfermedad de la planta capturada en la imagen. Esto se ilustra en el diagrama de casos de uso de la figura 5.2.

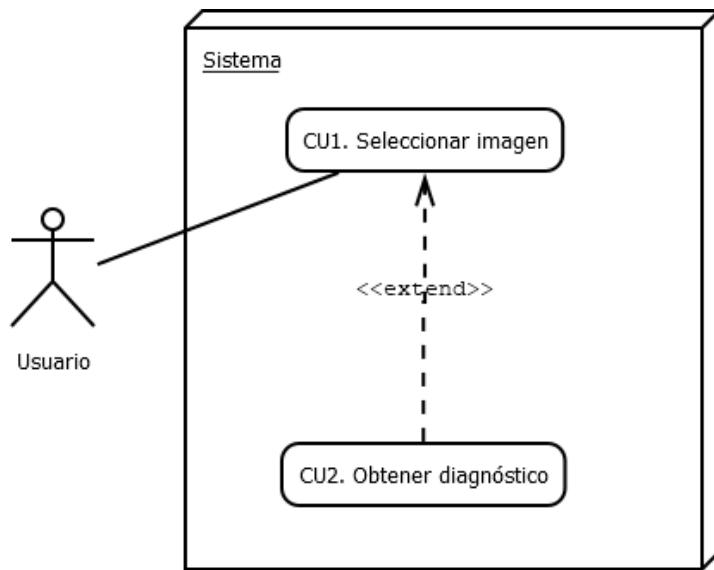


Figura 5.2 Casos de uso.

Las acciones previas al inicio de la obtención del diagnóstico las realiza el usuario en la interfaz web. Estas acciones consisten básicamente de dos actividades, seleccionar una imagen y presionar un botón para enviar la imagen al servidor. Una vez recibida la imagen en el servidor, se inicia el proceso descrito en los dos primeros prototipos para la obtención del diagnóstico. De esta forma, en el servidor se cuenta con una clase *Controlador* que se encarga de recibir la imagen, instanciar un objeto de la clase *Clasificador* y llamar los métodos necesarios de dicha clase para obtener el diagnóstico. Una vez obtenido el resultado se envía al cliente y se muestra en la interfaz web. En la figura 5.3 se muestra la interacción entre las clases *Controlador* y *Clasificador*, y en la figura 5.4 el diseño preliminar de la interfaz web.

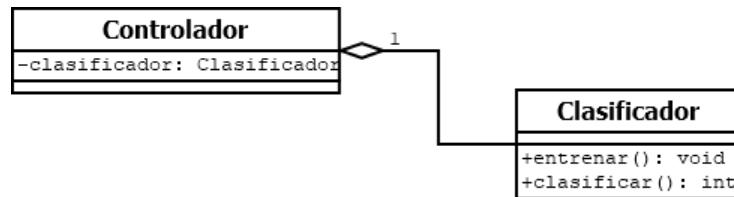


Figura 5.3 Diagrama de clases.

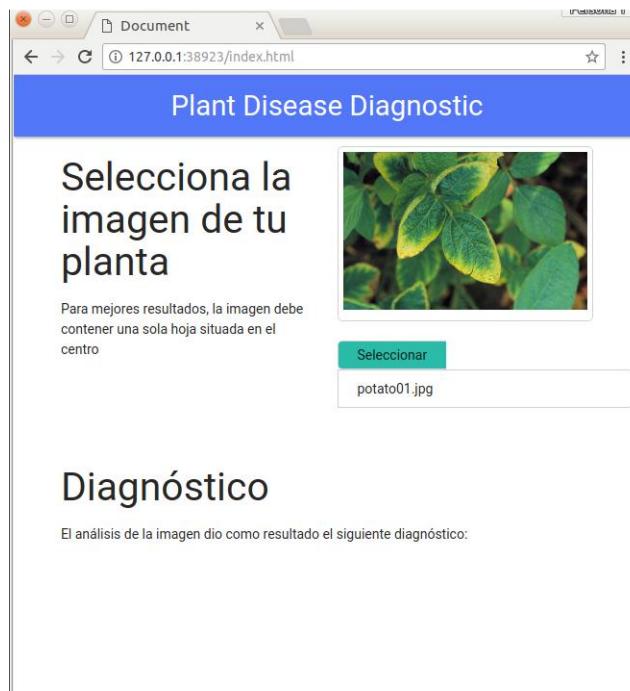


Figura 5.4 Propuesta de interfaz web.

De esta forma se concluye el diseño del tercer y último prototipo de la metodología de desarrollo y en una etapa posterior se complementará este documento con los detalles acerca de la implementación y puesta a punto del proyecto.

Referencias.

- [1] SAGARPA. Hidroponia rústica. [En línea] Disponible en: <http://www.sagarpa.gob.mx>.
- [2] Comercializadora Hydro Environment S.A. DE C.V. Deficiencia de los nutrientes en las plantas. [En línea] Disponible en: <http://hydroenv.com.mx/>
- [3] IPNI. Potassium Deficiency Symptom Images. [En línea] Disponible en: <http://potassium.ipni.net>
- [4] Tomato crop nutrition. Yara. [En línea] Disponible en <http://www.yara.us/agriculture/crops/tomato/crop-nutrition/>
- [5] MathWorks. Object detection in computer vision. [En línea] Disponible en: <https://www.mathworks.com/>
- [6] Wang Y. An Analysis of the Viola-Jones Face Detection Algorithm. Publicado por Image Processing On Line (IPOL). 2014.
- [7] Rosenbrock A. Histogram of Oriented Gradients and Object Detection. Pyimagesearch. [En línea] Disponible en <http://www.pyimagesearch.com/>
- [8] Daren Mueller, Iowa State University, Bugwood.org
- [9] Haralick, R. M., Shanmugan, K., and Dinstein, I. Textural features for image classification. 1973.