

Detección de rasgos y control de calidad en la manzana

Verónica Barzola L.¹, Moisés Bonilla E.¹, J. Humberto Sossa A.², Ricardo Barron F.²

¹Centro de Investigación y de Estudios Avanzados –IPN, Departamento de Control Automático, vbarzola@aol.com

²Centro de Investigación en Computación –IPN, hsossa@cic.ipn.mx, rbarron@cic.ipn.mx

Abstract. El control de calidad en frutos es un tema desafiante, cada fruto tiene diferentes cualidades y grados de calidad, los grados de calidad son dados por las normas nacionales e internacionales en donde se especifica que debe tener y no el fruto. En este trabajo se estudiaron solo 2 rasgos de calidad de la manzana golden delicious amarilla mexicana los cuales son: golpes y pedúnculo, estos rasgos son una parte importante para determinar el grado de calidad de la manzana, primeramente se realiza el procesamiento de la imagen digital para obtener los golpes y el pedúnculo si es que hay en la manzana, segundo se utilizan las técnicas de los sistemas difusos para realizar una clasificación de calidad de este fruto conforme a la norma mexicana NMX-FF-061-SCFI-2003.

Keywords: control de calidad, métodos no destructivos, sistemas de lógica difusa

1. Introducción

En horticultura, muchos procesos requieren de toma de decisiones basadas en información visual. Esto es particularmente cierto en tareas de corte de fruto, en la cosecha y en el *control de calidad*.

El avance de las aplicaciones prácticas del análisis de imágenes en la agricultura y la horticultura ha dependido crucialmente en 2 puntos clave de la revolución computacional: decrecimiento del costo de los sistemas e incremento en la velocidad de procesamiento y de capacidad de memoria.

Hay varios ejemplos prácticos en donde se utilizan las técnicas del procesamiento digital de imágenes en agricultura y horticultura, unos ejemplos son: el proceso de selección basado en tareas repetitivas, obtención de volumen realizando interpretaciones en imágenes de 3D. En los últimos años, el procesamiento digital de imágenes en agronomía se ha incrementado considerablemente, dentro de la literatura se puede encontrar [1] donde, mediante técnicas de procesamiento de imágenes determina la relación entre cobertura de tierra relativa por el dosel de cosecha y el peso seco, y con ello obtener el crecimiento de la lechuga, otro ejemplo es: [2] en

donde por medio de la técnicas del procesamiento digital de imágenes se obtiene el área de hoja de la espinaca, [3] determina la cantidad de agua consumida por una hoja de la planta, también es posible detectar enfermedades, mejorar el control de calidad en alimentos frescos destinados al consumo humano.

Uno de los objetivos primordiales es que mediante *métodos no destructivos* se realice la medición de crecimiento y el grado de calidad tanto de frutos como vegetales, para que estos no se vean afectados físicamente.

Una de las técnicas más favorables es el análisis de imágenes digitales por computadora (Visión Artificial). Las técnicas de este procesamiento digital aplicadas a ciertas áreas de la agronomía permiten el reconocimiento de enfermedades, maduración de los frutos, calidad de los frutos, mejoramiento de la siembra.

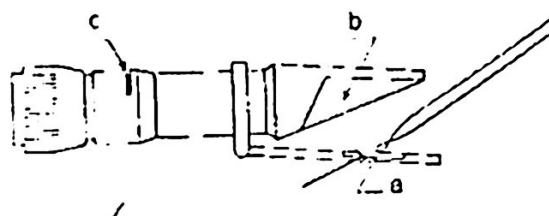
El control de calidad de los frutos ha resultado ser uno de los puntos más importantes en la agronomía, dado a que es necesario la selección del fruto para ser llevado ya sea a consumo humano o para algún proceso. Un ejemplo es:

La manzana [4] (*Malus domestica* Borkh), cual es uno de los frutos más consumidos a nivel mundial, la manzana golden amarilla es la más consumida en México.

La calidad de la manzana esta dada por varias características físicas y químicas dentro de la físicas se encuentran: firmeza, golpes, pedúnculo, rozaduras, rosetado (área de color café que se forma alrededor del pedúnculo), forma, tamaño, grietas. Dentro de las características químicas esta el color, olor, y contenido de sólido soluble (azúcar).

La gran mayoría de las técnicas usadas para determinar la calidad de los frutos son métodos destructivos un ejemplo es:

Para determinar el contenido de sólido soluble (contenidos de azúcar) se utiliza un refractómetro para tomar una muestra del jugo de manzana, para ello es necesario cortar una rebanada de manzana y obtener su jugo y así medir el contenido de sólido soluble en grados Brix, Figura 1.



- a) base para la muestra
- b) prisma
- c) tornillo de ajuste de la escala
- d) muestra de jugo de la manzana

Fig. 1. Refractario

Otra método destructivo es para obtener la firmeza o resistencia de la manzana, para ello se usa un penetró metro, Figura 2, el cual es introducido con fuerza a la manzana y así medir resistencia a la cual se opone.

La cantidad de golpes y la existencia de un pedúnculo son evaluados por personas a la hora de ser seleccionados. Mucho de los otros rasgos que determinan la calidad de la manzana son tomados por personas, por lo que se lleva un largo tiempo de decisión en calidad del los frutos.

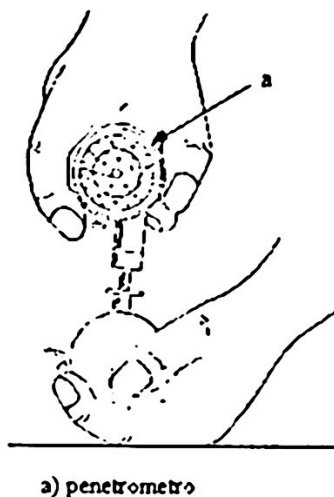


Fig. 2. Penetrómetro

La manzana en estado fresco se clasifica en 3 grados de calidad [5]: México extra(Mex-extra), México 1(Mex-1), México 2(Mex-2). Mex-extra es la manzana de mejor calidad en esta no se permite ningún grado de defecto o anomalía. Mex-1 y Mex-2 son de menor calidad cada uno de ellos permite un cierto grado de imperfecciones en cada una de las características que se describen en la Norma Mexicana de calidad de la manzana (NMX-FF-061-SCFI-2003), Figura (3).

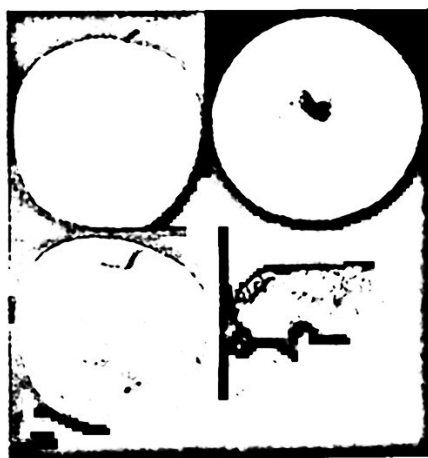


Fig. 3. Grados de calidad en la manzana

2. Material y Modelo

Para realizar el análisis de calidad en la manzana golden amarilla, se usaron 20 manzanas de Chihuahua, México, una cámara digital de 1024 x 768 píxeles, resolución horizontal de 300, resolución vertical de 300, profundidad de 24 y representación en color verdadero RGB. La cámara se fijo a una altura de 50cm arriba de la manzana a un ángulo de 55° a la normal. El fondo fue negro, blanco y rosa. La iluminación fue luz azul de 500W de forma continua, con una lámpara semiesférica para restar sombras. La operación de la manzana fue controlada a través de una computadora personal, Figura 4. Las imágenes obtenidas fueron procesadas con el toolbox Image Processing de Matlab y la toma de decisión del grado de calidad con el toolbox Fuzzy Logic de Matlab.

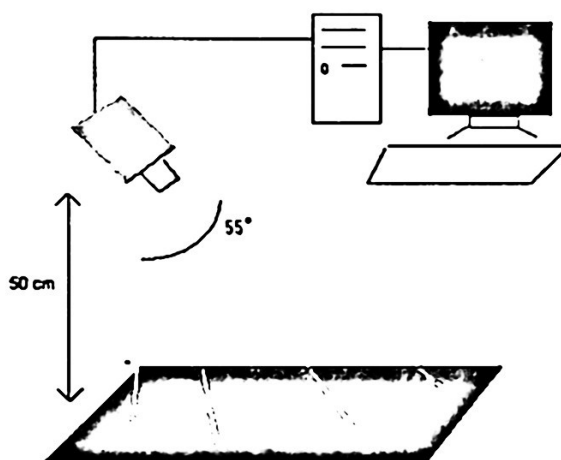


Fig. 4. Sistema de Visión

3. Sistemas de Lógica Difusa

La lógica difusa [6] empieza con el concepto de un conjunto difuso, donde un conjunto difuso es un conjunto que no es claramente definido acotado, el cual puede contener elementos con un solo grado parcial de membresía. Sea F un conjunto definido sobre U (universo de discurso), tal que un conjunto difuso es descrito por la función de membresía (μ_f), que mapea U al intervalo real $[0,1]$. Por cada elemento $u \in U$, la función $\mu_f(u)$ produce el grado de membresía de u al conjunto difuso F ($0 \leq \mu_f(u) \leq 1$), donde el 1 denota la membresía completa y cero denota la no membresía.

Una función de membresía, (μ_f), es una curva que define como cada punto en el espacio entrada es mapeado a un valor membresía (o grado de membresía entre el valor 0 y 1). Una función de membresía entrada a un valor de membresía apropiado. Las operaciones básicas de conjuntos difusos son: intersección ($\wedge$), unión ($\vee$) y negación (not).

Las reglas difusas permiten expresar un procesamiento estratégico en la forma en que toma decisión el ser humano. Las reglas *If-Then* son usadas para formular la declaración condicional que forma la lógica difusa. Ejemplo: *If x es A then y es B*, donde A y B son valores lingüísticos definidos por conjuntos difusos sobre los rasgos (universo de discurso) 'x' y 'y' respectivamente. El *If* parte de la regla "*x es A*" llamado antecedente o la causa, mientras que la parte de la regla "*y es B*" es llamado consecuente o efecto. El conjunto difuso A esta representado como un número entre 0 y 1, así el antecedente es una interpretación que regresa un número simple entre 0 y 1. El conjunto difuso B asigna todo el conjunto B a la variable de salida 'y'. La salida de cada regla es un conjunto difuso. Básicamente un sistema difuso es una colección de reglas difusas que son numéricamente procesadas por medio de un mecanismo de inferencia.

La inferencia difusa es el proceso de formulación de un mapeo de entrada y salida usando lógica difusa de tal forma que se describa completamente el proceso utilizando las funciones membresía, operadores lógicos y reglas *If-then*. Hay dos tipos de sistemas de inferencia difusa tipo [7] Mamdani y tipo [8] Sugeno. Cada uno determina de diferente forma la salida del sistema.

4. Análisis del golpe, pedúnculo y clasificación

Para la determinación de los rasgos en la manzana y la clasificación de está en los grados de calidad, Mex-extra, Mex-1 y Mex-2, se procesaron 20 imágenes de manzanas amarillas utilizando algunas técnicas prácticas del procesamiento digital de imágenes, los datos obtenidos fueron introducidos en un sistema difuso de tipo Mamdani, utilizando 18 reglas para su clasificación. Las imágenes se analizaron con el programa Matlab, Toolbox Image Processing, primeramente se convirtieron las imágenes en color a imágenes en niveles de gris, para determinar el rango de valores de gris que describen a los golpes y al pedúnculo, después se paso cada imagen por un filtro de mediana para eliminar el poco ruido que tienen las imágenes. Ya convertidas las imágenes en valores de girs y eliminado el ruido, para determinar cual es el rango con que se pueda distinguir tanto los golpes como el pedúnculo se utilizo el mouse, el cual al estar en una posición (x_i, y_i) de la imagen muestra el nivel de gris de esta posición, y así obtener un rango que encierra todo un rasgo de la manzana como es el golpe y el pedúnculo, este procedimiento se hizo para cada una de las 20 manzanas, de esta manera se obtuvo el rango en nivel de gris en que se encuentra tanto los golpes como el pedúnculo. Con estos valores se hace un corrimiento dentro de la imagen y si $(x_i, y_i) = R$, (R = rango de niveles de gris que encierran cada rasgo de la manzana a estudiar), entonces $(x_i, y_i) = 1$ sino $(x_i, y_i) = 0$, con lo que se obtiene una imagen de 2 valores 0 (blanco) y 1 (negro), el uno representa el objeto a estudiar y el cero lo que no pertenece al análisis o no es de gran interés. Para el primer estudio de los valores de gris de golpes, se posiciona el mouse en el área del golpe para obtener el valor del píxel en ese punto, se consideraron alrededor de 10 valores de píxel de tal forma que se rodeara bien el golpe, el rango que se encontró en promedio entre todas las manzanas que si tenían golpe fue [80-140], con este valor se realizó el corrimiento en la imagen y si $(x_i, y_i) = (80-140)$, se marca con valor de 1, si no entonces $(x_i, y_i) = 0$, de tal forma que se resalta el golpe en la imagen, Figura 5. Los resultados fueron

satisfactorios para 13 manzanas de las 20 imágenes. De esta misma forma se estudia la existencia del pedúnculo, rasgo importante para determinar la calidad de la manzana según las normas mexicanas e internacionales, el rango de niveles de gris para el pedúnculo en promedio es de 35 a 100. Si $(xi,yi) = (35-100)$ se le asigna el valor de 1 (negro), sino si $(xi,yi) \neq (35-100)$ se asigna el valor de 0 (blanco), de esta forma se resalta el pedúnculo y lo demás no importa, Figura 6, los resultados fueron satisfactorios para 15 manzanas de las 20 imágenes.

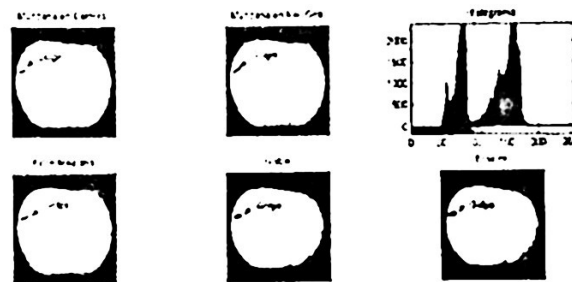


Fig. 5. Golpe

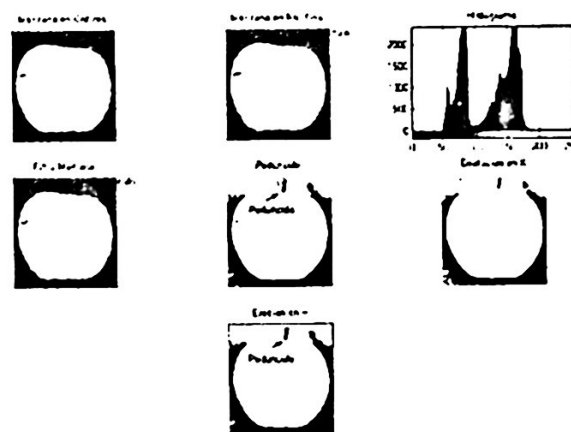


Fig. 6. Pedúnculo

Al realizar la separación de golpe y pedúnculo debido a que los rangos de separación se traslapan, esto es, el rango promedio del golpe es de 80-140 y el rango del pedúnculo es de 35-100 en algunas imágenes salieron a relucir estos 2 rasgos, Figura 7. Es notorio que hay un traslape de niveles de gris para determinar la existencia tanto de golpes como de pedúnculo. La intersección de valores de gris entre los rasgos estudiados no ayudan a lograr una separación entre golpes como de pedúnculo, debido a que cuando se quiera detectar de una manera automática el número de golpes que tiene una manzana puede llegar a confundirse con el pedúnculo y ser considerado como golpe.

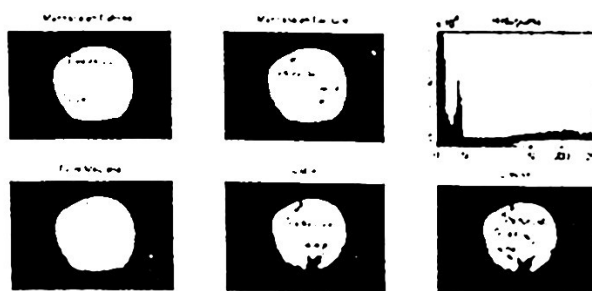


Fig. 7. Golpe y pedúnculo en una misma imagen

La clasificación del grado de calidad de las 20 manzanas analizadas fue por medio de sistemas de lógica difusa, en donde se usaron funciones de membresía tipo triangular estas funciones variaron dependiendo el grado de importancia o pertenencia que tiene cada rasgo como es golpe, pedúnculo y color. Se introdujeron 18 reglas *If-Then*, para determinar el grado de calidad que son México-extra, México-1 y México-2 según la norma mexicana. Dentro de las 18 reglas *If-Then* se considera la cantidad de golpes en una manzana, si hay ó no pedúnculo y el color de la manzana, como operador lógico se uso el “and”, es decir el valor mínimo entre los conjuntos, Tabla 1.

La clasificación se llevo a cabo por el método de Mamdani [6] en el toolbox Fuzzy logic de Matlab, haciendo uso de la herramienta del ruleedit el cual permite usar método Mamdani o método Sugeno, así como introducir las membresías correspondientes a cada una de las entradas considerando los diferentes grados de golpe que son: *nada de golpes*, *pocos golpes* y *muchos golpes*, Figura 9, las membresías del pedúnculo dentro del cual se consideraron 2 partes en la que si hay pedúnculo y en la que no lo hay, y por último el color de la manzana amarilla dependiendo la cantidad de golpes (amarilla, semi-amarillo y semi-cafe). Las 18 reglas *If-Then* que se muestran a continuación, ayudan a determinar el grado de calidad de la manzana por ejemplo *If* no hay nada de golpes y si hay pedúnculo y el color es amarillo *then* la manzana es de calidad Mex-extra, esto indica,

And $\mu A \wedge B = \min(\mu A, \mu B)$		
A	B	min(A,B)
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1

Tabla 1. AND

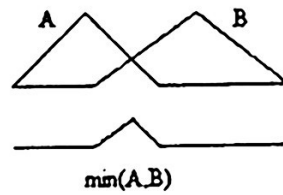


Fig. 8. El mínimo entre 2 funciones

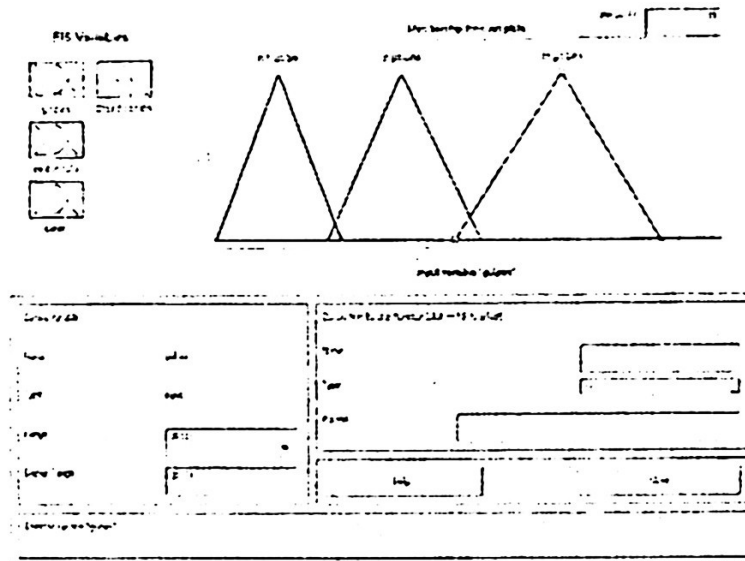


Fig. 9. Funciones de Membresía

que la manzana es de la mejor calidad ya que no tiene nada de golpes, tiene el pedúnculo que indica que no hay bacterias que lleguen a afectar al producto interno y además el color es amarillo.

If no hay nada de golpe *y* hay pedúnculo *y* el color es amarillo *then* la manzana es Mex-extra.

If no hay nada de golpe *y* hay pedúnculo *y* el color es semi-amarillo *then* la manzana es Mex-1.

If no hay nada de golpe *y* hay pedúnculo *y* el color es semi-cafe *then* la manzana es Mex-2.

If hay pocos golpes *y* hay pedúnculo *y* el color es amarillo *then* la manzana es Mex-1.

If hay pocos golpes *y* hay pedúnculo *y* el color es semi-amarillo *then* la manzana es Mex-1.

If hay pocos golpes *y* hay pedúnculo *y* el color es semi cafe *then* la manzana es Mex-2.

If hay muchos golpes *y* hay pedúnculo *y* el color es amarillo *then* la manzana es Mex-1.

If hay muchos golpes *y* hay pedúnculo *y* el color es semi amarillo *then* la manzana es Mex-1.

If hay muchos golpes *y* hay pedúnculo *y* el color es semi cafe *then* la manzana es Mex-2.

If no hay golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es amarillo *then* la manzana es Mex-1.

If no hay golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es semi amarillo *then* la manzana es Mex-2.

If no hay golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es semi cafe *then* la manzana es Mex-2.

If hay pocos golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es amarillo *then* la manzana es Mex-1.

If hay pocos golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es semi-amarillo *then* la manzana es Mex-2.

If hay pocos golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es semi-cafe *then* la manzana es Mex-2.

If hay muchos golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es amarillo *then* la manzana es Mex-2.

If hay muchos golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es semi-amarillo *then* la manzana es Mex-2.

If hay muchos golpes *y* no hay pedúnculo *y* el color es semi-cafe *then* la manzana es Mex-2.

La Figura 10 muestra los resultados obtenidos de las simulaciones, se tiene una columna de golpes en donde las membresías del lado izquierdo denotan que no hay golpes, las siguientes membresías en medio denotan que hay pocos golpes y por ultimo las membresías que están en el extremo derecho denotan que hay mucho

golpe, la siguiente columna es de las membresías de si hay ó no pedúnculo, en el cual las primeras membresías en el extremo izquierdo denotan que si hay pedúnculo y las siguientes membresía denotan la falta de pedúnculo, en la siguiente columna está el color, las primeras membresías al lado izquierdo denotan amarillo total en la manzana, la siguiente membresía denota que la manzana es semi-amarilla y la última membresía denota que la manzana es semi-café, la ultima columna denota la calidad del fruto, primeras membresías pertenecen la manzana Mex-extra, las segunda membresía pertenece a la manzana Mex-1 y por ultimo la manzana Mex-2.

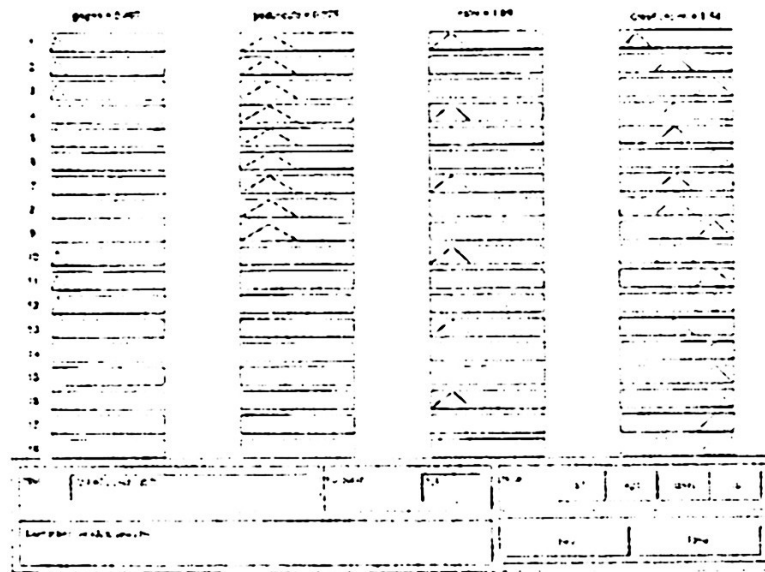


Fig. 10. Membresías de pertenencia

5. Resultados

La determinación de los golpes tomando como referencia el rango [80-140] de valor de gris permitió en 13 manzanas de las 20 analizadas encontrar el golpe más sobresaliente, en el resto de las otras manzanas no fueron detectados los golpes debido a su baja intensidad tanto de golpe como de valor de gris. En el estudio del pedúnculo con el rango de [35-100] de valor de gris de las 20 manzanas solo en 15 de ellas se pudo detectar la existencia del pedúnculo, debido a que en algunos casos el pedúnculo presenta un color café claro semejante al color de la manzana. En otros casos donde la manzana presenta varios golpes y todos ellos de diferente intensidad no se logro la separación de todos, solo de aquellos donde el golpe es bastante fuerte, un color café obscuro. Cuando el color del pedúnculo es semejante al color del golpe al realizar la separación de estos se obtienen los 2 rasgos en una misma imagen. Observando estos resultados de las 20 imágenes se crearon 18 reglas if-then para un sistema difuso tipo Mamdani, en donde se incremento una variable de entrada que es el color, con lo que permite poder realizar una clasificación de mayor aproximación al grado de calidad de la manzana dependiendo de los defectos que se tengan.

6. Conclusiones y Perspectivas

La determinación de los rasgos en las manzanas no es una tarea fácil de realizar debido a que cada manzana manifiesta diferentes formas de crecimiento aun siendo de la misma cosecha. Uno de los problemas principales es la detección de golpes debido a la intensidad del golpe y la intensidad del valor de gris. Otro problema es intersección de los rangos entre golpe y pedúnculo ya que no permiten hacer una separación adecuada para el estudio de cada uno de ellos. Una de las herramientas que más se acopla a la clasificación de la manzana según el número de defectos son los sistemas de lógica difusa, debido a la complejidad de toma de decisión, para determinar el grado de calidad.

Para trabajo futuro es incrementar en un vector de rasgos más características que ayuden a determinar tanto los golpes como el pedúnculo de una manera automática sin que haya problemas de distinción entre ellos, y pasar estos datos a un sistema difuso que permita la clasificación de manera directa. Además de incrementar los rasgos que ayuden a dar una mejor aproximación al grado de calidad del fruto, dentro de estos rasgos pueden estar el porcentaje de color, el tamaño ó la forma.

Referencias

1. Van Henten, E.J., y Bontsema J., "Non-Destructive crop measurements by image processing for crop growth control", Control Journal of Agricultural Engineering Research, 1995,
2. Barzola V, "Determinación del Área de hoja de la Espinaca por medio del procesamiento Digital de Imágenes", CINVESTAV, 2002,
3. H. Murase, Y. Nishiura, K. Mitani, "*Enviromental control strategies base don plant responses using intelligent machina vision technique*", Elseivier, Computer and Electronics in Agricultura, 18(1997) pp.137-148,
4. Brown, A. G. Apples, pp 3-37. In: Advances in Fruit Breeding. J . Janick and J. Moore (eds). Purdue Indiana Press. West Lafayette, Indiana, USA, 1975,
5. Secretaría de Economía, Productos Agrícolas no industrializados para consumo humano – Fruta fresca - Manzana (*Malus pumila* Mill) - (*Malus domestica* Borkh) – especificaciones (cancela a la NMX-FF-061-1993-SCFI) , NMX-FF-061-SCFI-2003.
6. Vojislav Kecman, "*Learning and Soft Computing*" MIT Press, 2001
7. Mamdani, E.H., "Application of Fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant" Proceedings IEE 121(12):1585-1588, 1974,
8. Sugeno M., "*An Introductory Survey of Fuzzy Control*", Information Sciences, 36, 59-83(1985)