UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN
FACULTAD DE INGENIERÍA DE PRODUCCIÓN Y SERVICIOS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

Modelo de sistema experto neuro-difuso para la codificación de conchas de abanico

Tesis presentada por el Bachiller:

Roy Helbert Pepo Perez Pinto

Para optar el Título Profesional de:

Ingeniero de Sistemas

AREQUIPA - PERÚ

2020

Modelo de sistema experto neuro-difuso para la codificación de conchas de abanico

Esta versión definitiva de tesis
contiene las correcciones y variaciones sugeridas por la
comisión del jurado durante la defensa realizada
por *Roy Helbert Pepo Perez Pinto*

Asesor:

- Ing. Christian Edilberto Portugal Zambrano - UNSA

Comisión del jurado:

- Mg. Lucy Angela Delgado Barra - Presidente - EPIS - UNSA
- Dr. Jose Alfredo Sulla Torres - Secretario - EPIS - UNSA
- Dr. Cesar Basilio Baluarte Araya - 3er Miembro - EPIS - UNSA

Agradecimientos

A Dios por todo lo que me ha dado, a mi padre por su compañía en momentos tan difíciles, a mi madre una luchadora, a mis hermanas por su apoyo y comprensión. A mis abuelos, que pusieron su granito de arena en este camino, que Dios los tenga en su gloria. Y en general a todos mis seres queridos por su constante apoyo durante toda mi vida, a mis amigos por su confianza en mí, a pesar que a veces hice lo posible para que la pierdan, y a todos los profesores por sus enseñanzas.

Para empezar un gran proyecto, hace falta valentía. Para terminar un gran proyecto, hace falta perseverancia

Resumen

La globalización afecta a todos los países sin importar que sean desarrollados, emergentes o en vías de desarrollo y los subdesarrollados. Para que un producto pueda ingresar en el mercado a nivel internacional debe vencer las altas barreras de la globalización y afrontar los estándares de calidad y producción que este exige. Los países en vías de desarrollo, como Perú [BIRF, 2019], tienen serias dificultades para cumplir con estos estándares de calidad mas aun cuando se tiene en frente a países desarrollados que cuentan con una producción optimizada al contar con procesos automatizados teniendo de esta forma un entorno controlado y poder cumplir un estándar específico. En el Perú existen productos que buscan su inserción en el mercado internacional entre ellos se tiene a la concha de abanico, la cual tiene alta demanda en Francia, Canadá y los Estados Unidos. La ciudad de Pisco, es una de las principales ciudades exportadoras en Perú de la concha de abanico, por ello surge la necesidad de automatizar los procesos de producción de conchas de abanico para poder insertar su producto en el mercado internacional, uno de estos procesos es el de la codificación de Conchas de Abanico el cual posee algunas singularidades, resaltando entre ellas el alto grado de subjetividad al momento de designar a un molusco con un grado de calidad (Código), en ocasiones se designa con un código de menor precio a moluscos que tienen probabilidades de ser clasificados con un código de mayor precio y viceversa, ocasionando pérdidas para alguna de las partes. En este trabajo, se presenta un modelo de Sistema Experto Neurodifuso, como alternativa para la codificación de Conchas de Abanico, que permita obtener el código de clasificación establecido por la FAO al molusco, a partir de su peso en gramos. Adicionalmente este modelo da la opción de modificar manualmente las reglas del proceso de codificación, con el fin de realizar una codificación balanceada del producto.
Palabras clave: Lógica difusa, sistemas expertos, funciones de pertenencia, conchas de abanico.

Abstract

Globalization affects all countries regardless of whether they are developed, emerging or developing and underdeveloped. In order for a product to enter the market internationally, it must overcome the high barriers of globalization and face the standards of quality and production that it demands. Developing countries, such as Perú [BIRF, 2019], have serious difficulties in complying with these quality standards even more when it is in front of developed countries that have an optimized production by having automated processes thus having a controlled environment and power meet a specific standard. In Peru there are products that seek their insertion in the international market, among them there is a fan shell, which is in high demand in France, Canada and the United States. The city of Pisco, is one of the main exporting cities in Peru of the fan shell, so the need arises to automate the processes of fan shell production to be able to insert your product in the international market, one of these processes is the one of the codification of Fan Shells which has some singularities, highlighting among them the high degree of subjectivity at the time of designating a mollusk with a quality grade (Code), sometimes it is designated with a code of lower price to mollusks that are likely to be classified with a higher price code and vice versa, causing losses for any of the parties. In this work, a Neurodiffuse Expert System Model is presented, as an alternative for the coding of Fan Shells, which allows obtaining the classification code established by FAO to mollusk, from its weight in grams. Additionally this model gives the option of manually modifying the rules of the coding process, in order to perform a balanced coding of the product.

Índice general

Lista de figuras **9**

Lista de cuadros **10**

1 Planteamiento metodológico **12**

1.1 Planteamiento del problema 12

1.1.1 Descripción del problema 12

1.1.2 Formulación interrogativa del problema 13

1.2 Objetivos 13

1.2.1 Objetivo general 13

1.2.2 Objetivos específicos 14

1.2.3 Demostración y validación del modelo 14

1.3 Hipótesis de la investigación 14

1.3.1 Hipótesis general 14

1.4 Variables 14

1.5 Justificación e importancia de la investigación 15

1.5.1 Justificación 15

1.5.2 Importancia 16

1.6 Limitaciones de la investigación 16

1.7 Diseño de la investigación 17

1.7.1 Tipo de investigación 17

1.7.2 Diseño de la ejecución 18

1.8 Contribuciones 19

1.9 Organización del trabajo 19

2 Estudio de las Conchas de Abanico **20**

2.1 Clasificación taxonómica 20

2.2 Aspectos biológicos 21

2.2.1 Hábitat 21
2.2.2 Morfología interna o fisiología 21
2.2.3 Morfología externa 22
2.2.4 Hábitos alimenticios 23
2.2.5 Ciclo de vida 23
2.3 Distribución geográfica de las conchas de abanico 24
2.4 Origen y su importancia en el Perú 25
2.5 Desarrollo del cultivo en el Perú 26
2.6 Proceso de extracción y producción 27
2.6.1 Sistema de Cultivo Suspendido 27
2.6.2 Sistema de cultivo de Fondo 28
2.6.3 Etapas de cultivo suspendido 28
2.7 Problemas identificados 29

3 Estado del arte y trabajos previos 30
3.1 Sistemas Expertos 30
3.2 Lógica Difusa 31
3.2.1 Conjuntos Clásicos 31
3.2.2 Conjuntos Difusos 33
3.2.3 Función de Pertenencia 33
3.2.4 Operaciones Difusas 35
3.2.5 Variable Lingüística 35
3.2.6 Reglas Difusas 37
3.2.7 Inferencia Difusa 39
3.2.8 Redes Neuronales Difusas - FAM 41
3.3 Codificación de Conchas de Abanico 43
3.4 Trabajos previos 43

4 Sistema Experto de codificación de Conchas de Abanico 45
4.1 Reglas Difusas 45
4.2 Desplazamiento de funciones de pertenencia 49
4.3 Estructura del modelo propuesto 50
4.4 Propuesta e implementación de “redes FAM dinámicas” 52
4.5 Diagrama de flujo del proceso de clasificación de conchas de abanico 54

5 Análisis y pruebas **57**
5.1 Implementación del modelo 57
5.2 Base de datos de moluscos para pruebas 58
5.3 Análisis del proceso manual de codificado de conchas de abanico 58
5.4 Pruebas del proceso automatizado de codificado de conchas de abanico . . . 60

6 Conclusiones y Trabajos Futuros **63**
6.1 Conclusiones 63
6.2 Trabajos Futuros 64

A Artículo presentado en el Congreso Latinoamericano de Estudiantes en Informática (CLEI). Medellín - Colombia, 2012 **65**

B Artículo presentado en las Jornadas Peruanas de Computación (JPC). Pucallpa - Perú, 2011 **75**

Índice alfabético **88**

Bibliografía **89**

Lista de abreviaturas

FAO	Organización para la Agricultura y Alimentación (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*)
FAM	Memoria Asociativa Difusa (*Fuzzy Associative Memory*)
PIPEA	Proyectos de Innovación Productiva en Empresas Asociadas
IMARPE	Instituto del Mar del Perú
SUNAT	Superintendencia de Administración Tributaria

Lista de figuras

2.1 Morfología interna de la Concha de Abanico 22
2.2 Morfología externa de la concha de abanico 23
2.3 Ciclo biológico de la concha de abanico 24
2.4 Distribución geográfica de conchas de abanico en el Perú. 25
2.5 Sistemas de Cultivo Long Line 28

3.1 Función Triangular 34
3.2 Función Trapezoidal 35
3.3 Variable lingüística 37
3.4 Ejemplo de Inferencia de Selección monotónica 39
3.5 Fuzzy Associative Memory 41

4.1 Variable Lingüística Grupos 47
4.2 Variable Lingüística Códigos 48
4.3 Desplazamiento de funciones 49
4.4 Decisión errónea 50
4.5 Consulta a una Regla Difusa 52
4.6 Interpretación Matemática de una Regla Difusa 53
4.7 Comportamiento de una Regla Difusa Desplazada 53
4.8 Proceso de automatización y clasificación de conchas de abanico 54
4.9 Reglas difusas para decidir el desplazamiento 55

5.1 Proceso manual de codificado de conchas de abanico 59

Lista de cuadros

1.1 Códigos de exportación de moluscos conchas de abanico 13
1.2 Conceptualización de variables 15
1.3 Parámetros del proceso de Codificación de Conchas de Abanico 16
1.4 Técnicas, instrumentos, informantes o fuentes y sus principales ventajas y desventajas 18

3.1 Mecanismo de Aprendizaje 42
3.2 Códigos de exportación de moluscos Conchas de Abanico 43

4.1 Valores de la variable lingüística grupos 46
4.2 Valores de la variable lingüística códigos 48

5.1 Pesos de moluscos para proceso de pruebas del modelo 58
5.2 Matriz de confusión del proceso manual de codificado 60
5.3 Matriz de confusión del proceso automatizado de codificado 61
5.4 Cuadro de comparación del proceso automatizado de codificado 61
5.5 Resultados de desplazamiento por parejas 62

Introducción

El desarrollo de las industrias alimenticias ha conducido a un aumento en el número de proyectos de software que apoyen en los diferentes procesos de su cadena de producción, existen diversos proyectos en este sentido, tales como los sistemas de información integrados, ERP - Enterprise Resource Planning, sistemas de administración de proveedores, sistemas de administración de clientes, automatización de algunos procesos, sistemas expertos, entre otros.

Entre estas propuestas la que mayor importancia toma es la automatización, esto debido al rol que toma cuando estas empresas de alimentos quieren exportar sus productos. Entre las diferentes normas y estándares que las diferentes organizaciones exigen esta la automatización de su ciclo de producción debido a que este aporta calidad y producción en masa el cual es uno de los puntos claves para su aprobación como proveedor. La automatización de este tipo de proceso deben buscar emular o superar el procedimiento manual en términos de calidad y producción en masa.

Existen procedimientos de automatización que involucran diferentes parámetros a tomar en cuenta para la clasificación del grado de calidad de sus productos, para ello se han aplicado diferentes técnicas como redes neuronales, sistemas expertos, lógica difusa, visión computacional, entre otros.

Teniendo en cuenta los trabajos encontrados en la literatura se tiene demostrada el grado de factibilidad que tienen este tipo de proyectos de automatización.

Capítulo 1

Planteamiento metodológico

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. Descripción del problema

En la ciudad de Pisco existe una cantidad significativa de acuicultores, que son regulados por el Decreto Ley 25977 – Ley General de Pesca. Entre los productos que más se cultivan en esta zona son las conchas de abanico que son una familia de moluscos bivalvos, doble valva o concha, emparentados de cerca con las almejas y las ostras, puesto que también son moluscos que se encuentran dentro de valvas. El área marina de esta zona es apta para el crecimiento de este molusco. Estos acuicultores ofrecen sus productos a las empresas locales que se encargan de su exportación. Los acuicultores dejan las conchas de abanico agrupadas en manojos posteriormente la empresa local extrae los moluscos de las valvas para pesar y calcular el pago respectivo a cada acuicultor. Para encontrar el grado de calidad, llamado también codificación, del molusco es necesario tener en cuenta el estándar de la FAO según el Cuadro 1.1 que es una métrica en conjunto debido a que mientras menos unidades de este molusco pesen una libra el código o clasificación es de mejor calidad. Es así que a las personas que se dedican a este proceso se les llama "Codificadoras" quienes agrupan los moluscos en conjuntos que pesan una libra, gracias al tiempo en el trabajo cuentan con una experiencia en el proceso. En este sentido las "Codificadoras" de la entidad vendedora mezclarán los moluscos con menor peso en conjuntos con moluscos de mayor peso, por otro lado las "Codificadoras" de la entidad compradora mezclarán moluscos de mayor peso en conjuntos con moluscos de menor peso esto con el objetivo de que en el calculo de los pagos beneficien a la entidad a la cual representan. Actualmente se trata de equilibrar los intereses poniendo "Codificadoras" de ambas entidades para poder codificar de una manera equilibrada y/o balanceada. Adicionalmente la globalización busca en las empresas exportadoras que

sus productos alimenticios cumplan exigentes estándares de clasificación para que puedan ingresar a un determinado mercado. En el Perú la producción de conchas de abanico constituye un mercado de exportación con una tendencia creciente [SUNAT, 2017], debiendo de cumplir con estándares de clasificación de calidad relacionados a condiciones físicas (Peso) del molusco.

Cuadro 1.1: *Códigos de exportación de moluscos conchas de abanico*

Código	**Unidades/Libra**		**Peso (gr.)**	
	Min	Max	Min	Max
10/20	–	20	22.7	Más
20/30	21	30	15.1	22.6
30/40	31	40	11.4	15
40/60	41	60	7.6	11.3
60/80	61	80	5.7	7.5

Fuente: FAO

El Cuadro 1.1 describe que un molusco que pese 22.7 gr. puede ser catalogado como código 20/30, en el caso que la "Codificadora" sea de la entidad compradora, de lo contrario será catalogado 10/20. Esto es en el caso que la clasificación se realice de forma individual pero este clasificación de la FAO es dado a un conjunto o grupo de moluscos como ya se mencionó anteriormente.

1.1.2. Formulación interrogativa del problema

Por lo expuesto en la descripción de la realidad problemática, la pregunta de investigación que guía el estudio es:

- ¿Cómo mejorar la utilidad en el proceso de codificación de conchas de abanico?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Proponer un modelo de sistema experto neurodifuso para la codificación de moluscos de conchas de abanico.

1.2.2. Objetivos específicos

1. Elaborar el procedimiento del proceso manual de codificado de conchas de abanico.
2. Definir reglas difusas para el codificado de moluscos de conchas de abanico.
3. Elaborar un modelo difuso dinámico, que permita modificar la decisión en tiempo de ejecución de acuerdo a los intereses del operador.
4. Lograr un tiempo de codificación automática menor o similar al proceso manual.

1.2.3. Demostración y validación del modelo

El modelo neurodifuso para la codificación de conchas de abanico de este trabajo es fundamentado por medio de la construcción de un prototipo de software desarrollado en lenguaje C++ el cual fue parte de los componentes entregados dentro de los informes técnicos del proyecto PIPEA-1-P-016-10: "Visión Artificial aplicada a la automatización del Proceso de Codificado y Revisado de conchas de Abanico".

Adicionalmente, para la validación del presente modelo se contará con una base de datos del proceso manual de codificación el cual será previamente evaluado por los expertos en el proceso. Esta base de datos nos servirá para la validación de los resultados del presente trabajo.

1.3. Hipótesis de la investigación

1.3.1. Hipótesis general

Si se aplica el modelo sistema experto de codificación de conchas de abanico, es posible incrementar significativamente la utilidad en el proceso de codificación de conchas de abanico.

1.4. Variables

Las variable independientes y dependientes del presente trabajo se detallan y conceptualizan en el Cuadro 1.2:

Cuadro 1.2: *Conceptualización de variables*

Variables independientes	
Variable	**Definición conceptual**
Modelo de codificación de conchas de abanico basado en lógica difusa.	La concepción de un modelo de un sistema experto neurodifuso para la codificación de conchas de abanico dentro del proceso de producción de modo que resulte un producto final de calidad de exportación.
Variables dependientes	
Variable	**Definición conceptual**
El código asignado a un molusco de Conchas de Abanico	Es el grado de calidad que determina un código para un molusco como parte del proceso de codificación de conchas de abanico.
Proceso de dinamización del proceso de codificado	Este proceso nos permitirá influir en los resultados de estimación de código de acuerdo a las espectativas de los interesados.

1.5. Justificación e importancia de la investigación

1.5.1. Justificación

El tiempo y costo para el proceso de codificación de conchas de abanico son variables y resultan de los parámetros del Cuadro 1.3. En ese sentido, se puede afirmar que el tiempo para el codificado de un molusco es de aproximadamente 0.12 segundos, siendo un valor superable por un proceso automatizado. Cabe mencionar que dicho proceso es realizado de manera visual y basada en el criterio del trabajador, debido a ello, resulta un poco tedioso y en consecuencia lento conforme aumenta el estrés y cansancio del trabajador. Adicionalmente, la mano de obra en el lugar es relativamente escasa trayendo consigo todos los problemas de "la oferta y la demanda". No obstante las instituciones que busquen automatizar dicho proceso deberán hacer el proceso de codificado utilizando líneas de producción o en su defecto en bloque (Matricial).

Cuadro 1.3: *Parámetros del proceso de Codificación de Conchas de Abanico*

Parámetro	**Valor**
Trabajadoras	4 - 5.
Precio por kg. (Molusco codificado)	0.15 – 0.18
Cantidad de moluscos (kg.)	1000 – 2000
Tiempo necesario (Horas)	4 – 5.

Fuente: Chatsford SAC

1.5.2. Importancia

Un adecuado proceso de codificación de Conchas de Abanico permitirá:

- Permite reducir los costos por mano de obra dentro del proceso.
- Estandariza los procesos de codificación de conchas de abanico de la empresa.
- Mejorar las utilidades de la empresa en el proceso de producción de conchas de abanico.
- Mejora el prestigio de la empresa en la región al contar con un modelo automatizado de codificación de conchas de abanico pudiendo alcanzar una certificación internacional globalizándose y mejorando la oferta de sus productos al extranjero.
- Mejora el nivel de satisfacción de los acuicultores de la región al disminuir los conflictos en la compra venta de sus moluscos.

1.6. Limitaciones de la investigación

- La investigación está dirigida a una empresa del sector de exportación, específicamente en el proceso de calidad del proceso de producción de conchas de abanico.
- El presente modelo se aplica al proceso de codificación (clasificación) de conchas de abanico.
- La implementación y evaluación del modelo propuesto se realizará en un proyecto financiado por FINCYT y evaluar el impacto del modelo en la eficiencia y compararlo con su contraparte manual obtenido de los datos históricos de la empresa.

1.7. Diseño de la investigación

1.7.1. Tipo de investigación

Según la finalidad

Según la finalidad es una investigación aplicada, ya que busca la resolución del problema mediante la aplicación de un modelo.

Según el tratamiento de datos

Es una investigación cuali – cuantitativa, pues se recurrirá a métodos para cuantificar información subjetiva, así como herramientas de cálculo que justifiquen la conveniencia de las propuestas del presente trabajo.

Según el lugar

Es una investigación de laboratorio, debido a que la data histórica se encuentra disponible en la experiencia del personal de la empresa; también es una investigación de campo, pues el modelo requerirá obtener información mediante entrevistas a los involucrados de la cadena de suministros.

1.7.2. Diseño de la ejecución

Técnicas, instrumentos, informantes o fuentes y sus principales ventajas y desventajas

Cuadro 1.4: *Técnicas, instrumentos, informantes o fuentes y sus principales ventajas y desventajas*

Técnicas	**Instrumentos**	**Fuentes informantes**	**Principales Ventajas**	**Principales Desventajas**
Entrevista	Guía de entrevista	Responsables de área de campo, Gestores del proceso de Codificación	Permite profundizar los aspectos interesantes.	Difícil, costoso y solo aplicable a un pequeño número de informantes importantes.
Análisis Documental	Fichas textuales y de resumen	Información sobre técnicas utilizadas para procesos similares en la literatura, Internet, Registros y/o controles varios	Muy objetiva, puede constituir evidencia.	Aplicación limitada a fuentes documentales.
Observación de campo	Guía de observación de campo.	Llamadas telefónicas, Visitas a campo	Contacto directo del observador con la realidad.	Aplicación limitada a aspectos fijos o repetitivos.

Forma de tratamiento de datos

Los datos obtenidos son tratados mediante la aplicación de las técnicas e instrumentos: entrevistas, análisis documental y observación de campo aplicados a los informantes o fuentes. Luego, la información se analizada cuidadosamente para su correcta interpretación. Tanto los sistemas informáticos como los soportes impresos, se gestionan y custodian de forma que quede garantizada la seguridad y la confidencialidad de los datos.

Forma de análisis de las informaciones

Se emplean tres técnicas para recabar la información y se elabora una síntesis de los resultados para dar explicación al problema investigado. Por último, se procede a realizar una síntesis general, para poder validar la hipótesis.

1.8. Contribuciones

Las principales contribuciones son:

- Un modelo de aprendizaje dinámico como mejora a una red FAM.
- Un modelo de soporte a kas tareas en el codificado de conchas de abanico.
- Una aplicación de funciones dinámicas dentro de las regla difusas en Sistemas Expertos.

El presente trabajo originó la publicación de 2 artículos para presentación, uno para el Simposio de Inteligencia Artificial JPC2011 y el otro en la Conferencia Latinoamericana de Estudios en Informática CLEI2012. Ambos artículos se encuentran en los Apéndices A y B de este trabajo.

1.9. Organización del trabajo

El presente trabajo de tesis está organizado de la siguiente manera: El Capítulo 2 resume el estudio de las conchas de abanico así como la importancia que representa en el Perú. En el Capítulo 3 se resume el estado del arte y conceptos teóricos necesarios para fundamentar la propuesta además de los trabajos previos recopilados hasta la actualidad.

En el Capítulo 4 se describe detalladamente el método propuesto describiendo el proceso para la codificación de conchas de abanico, el cual abarca desde las reglas difusas donde se arma el modelo difuso hasta la implementación de las redes FAM dinámicas. El Capítulo 5 presenta los experimentos elaborados y sus resultados. Finalmente, el Capitulo 6 presenta las conclusiones obtenidas a partir del análisis de los resultados y para la contribución de futuros trabajos de investigación.

Capítulo 2

Estudio de las Conchas de Abanico

La concha de abanico es un molusco bivalvo, que se caracteriza por presentar una concha orbicular con valvas desiguales, siendo la valva inferior más convexa que la superior, presentando entre 23 a 26 costillas radiales por valva. Cada valva posee prolongaciones, llamadas orejas desiguales, siendo la anterior de mayor tamaño. La coloración externa varía desde el rosado a púrpura oscuro, incluyendo el color anaranjado. Es conocida científicamente como *Argopecten Purpuratus* [IIED, 2019], pertenece a la familia Pectinidae, la misma que engloba un gran número de especies conocidas internacionalmente como "vieiras". Estos animales habitan en las zonas costeras a temperaturas entre los 13 y 28 °C. La concha de abanico tiene como cualidad la desovación durante los 365 días del año, sobre todo en fechas del Fenómeno del niño [Crisanto Viera, 2016].

La gónada y el tallo son las partes comestibles de las conchas de abanico, las cuales se pueden vender en estado fresco o congelado, mientras que las conchas de abanico de peso no comerciales se procesan para su venta como conserva.

2.1. Clasificación taxonómica

Las conchas de abanico se clasifican de la siguiente manera [IMARPE, 2016]:

Clase:	Pelecypoda(Bivalvia, Lamelibranchia)
Sub clase:	Pteriomorphia
Orden:	Pterioida (Pteroconchida, lsodontida)
Súper familia:	Pectinacea
Familia:	Pectinidae
Especie:	Agropecten purpuratus

2.2. Aspectos biológicos

2.2.1. Hábitat

Se encuentra principalmente en aguas costeras en una profundidad comprendida entre los 3 y 40 metros. Las conchas de abanico forman parte de la comunidad bentónica costera y vive sobre sustrato sedimentario areno-pedregoso, fango, las rocas y en las algas.

Dentro de los bancos naturales se encuentran de forma dispersa, debido a la diferencia en calidad del sustrato y a la influencia de los factores oceanográficos. El agua donde generalmente se encuentra tiene un rango amplio de temperatura que varía entre los 14 y 20°C, sin embargo durante el Fenómeno El Niño soporta temperaturas de hasta 25°C [Castro, 2013].

2.2.2. Morfología interna o fisiología

- **El manto:** Cubre a las partes blandas, consta de dos lóbulos, atravesados por vasos sanguíneos y nervios, su función redunda en la actividad respiratoria y en la segregación de la concha.

- **El pie:** Es pequeño y rudimentario, sirve para la fijación mediante el biso.

- **Branquias:** Las branquias a cada lado realizan la respiración y tienen dos láminas branquiales externa e interna cuya función es atrapar el material alimenticio.

- **Músculo aductor:** Posee un solo músculo aductor (carne blanca) está dividido en dos partes, una de fibras estriadas que da impulso a la actividad natatoria y la otra más pequeña de forma elíptica adosada a la primera, cuya función es cerrar las valvas.

- **Gónadas:** Se encuentra adosada al músculo aductor, es sacciforme, voluminosa y turgente cuando se encuentra en la plenitud de la madurez, su consistencia, tamaño y coloración varia según la etapa en que se encuentra. La gónada masculina es de color lechoso y la femenina de color naranja.

- **Sistema digestivo:** El tubo digestivo se inicia en los palpos labiales, que presentan surcos y cilios. El alimento es conducido hacia la boca por el movimiento de los cilios, continúa hacia el esófago donde se mezcla, sigue por el intestino enrollado por el recto y termina en el ano [Crisanto Viera, 2016].

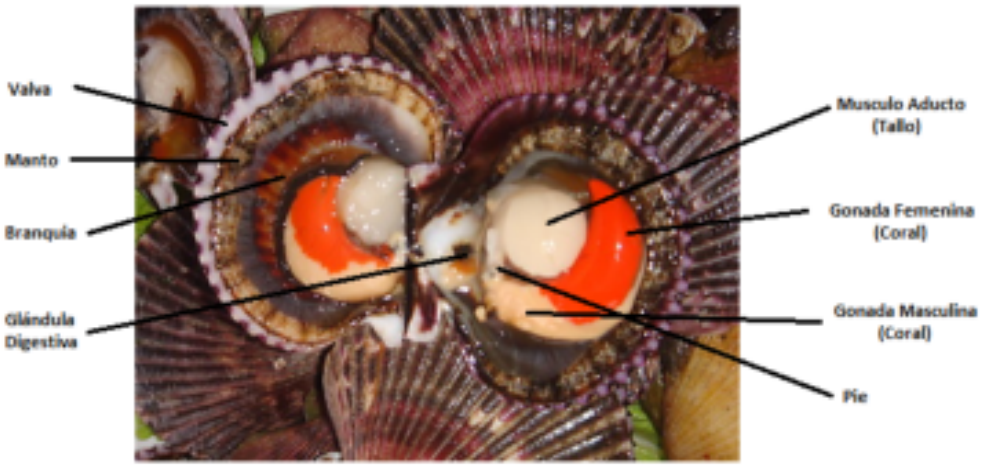


Figura 2.1: *Morfología interna de la Concha de Abanico*
Fuente: Elaboración Propia

2.2.3. Morfología externa

El cuerpo blando está protegido por dos valvas de carbonato de calcio son casi circulares excepto por el borde dorsal que es recto y se unen por medio de la charnella. Es inequivalva (valvas diferentes) la inferior es de mayor convexidad que la superior, ambos presentan expansiones laterales denominadas orejas. El umbo tiene posición central y constituye la parte anterior del organismo. Desde el umbo se irradian costillas en número de 23 a 25. La valva inferior es de coloración más clara que la superior que es oscura.

La morfología externa de Argoécten Purpuratus es de la siguiente manera [IMARPE, 2016]: Sus valvas son sólidas, moderadamente convexas, más larga que alta, ambas valvas forman una concha simétrica, la valva inferior algo mas convexa que la superior, las orejas son relativamente iguales y el contorno frontal circular. La coloración externa es blanca con púrpura encima de las costillas, alternativamente rosada y marrón. Posee una ornamentación externa formada por 23 a 25 costillas radiales, anchas y lisas, que se aplastan hacia el margen ventral [Crisanto Viera, 2016] [Castro, 2013].

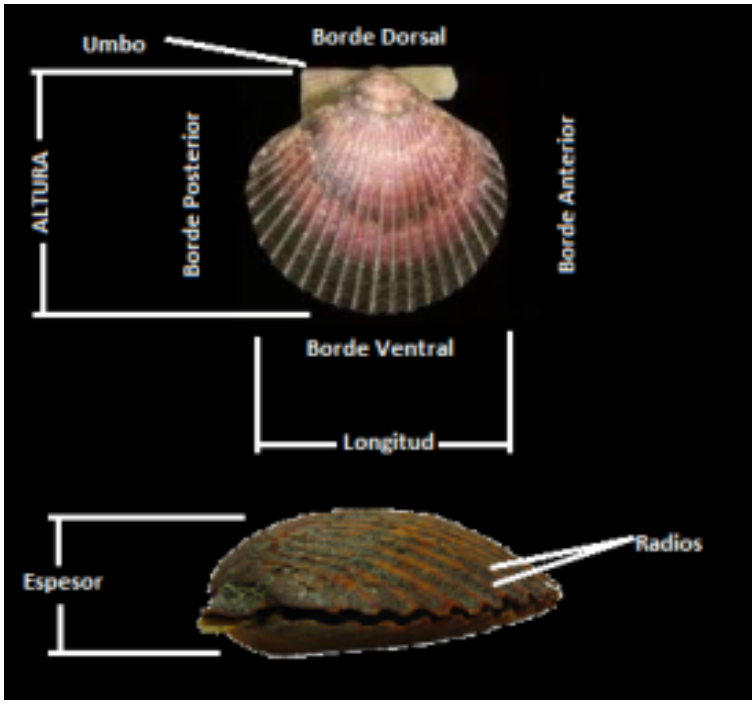


Figura 2.2: *Morfología externa de la concha de abanico*
Fuente: Elaboración Propia

2.2.4. Hábitos alimenticios

El alimento principal de la concha de abanico, lo constituye el fitoplancton siendo las micro algas pardas las preferidas, como: Isochrysis sp, Chaetoceros sp, Skeletonema sp, Navícula sp, Nitzschia sp, Thalassiosira sp, Melosira sp, Cyclotella sp, entre otras [Crisanto Viera, 2016].

2.2.5. Ciclo de vida

Cuando alcanzan la madurez sexual, las gónadas liberan sus gametos al mar, en donde tiene lugar la fecundación. Los gametos femeninos son expulsados en forma de ovocitos (diploides), por lo que antes de su fusión, con el núcleo masculino, debe efectuar la pertinente reducción cromática. Como consecuencia, se forman dos cuerpos polares fácilmente visibles. Una vez llevada a cabo dicha reducción cromática hay una fusión de núcleos y a continuación se inician las divisiones celulares que posteriormente dan origen a la formación de la larva trocófera (aproximadamente a las 24 horas) y finalmente a la larva veliger (en general 48 horas después de la fecundación). Estos tiempos son muy dependientes de la temperatura. Después de un período de vida larvaria planctónica, durante el cual las larvas aumentan progresivamente de tamaño y experimentan cambios morfológicos y cuya duración es variable según las condiciones ambientales, las larvas alcanzan la competencia, es decir, están en

condiciones para experimentar la metamorfosis. Esta última esta asociada a cambios morfológicos y de comportamiento, de ser larvas planctónicas pasan a ser juveniles bentónicos, los cuáles al completar su desarrollo como adultos formaran gónadas y se repetirá el ciclo [Castro, 2013].

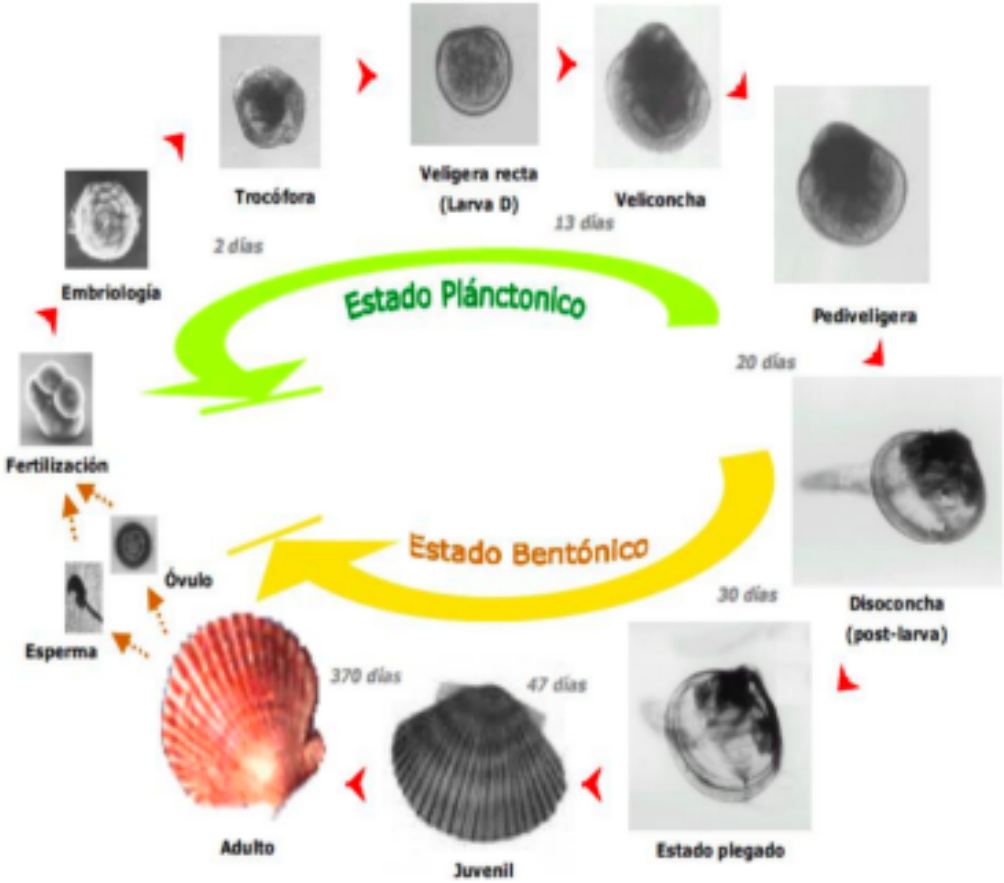


Figura 2.3: *Ciclo biológico de la concha de abanico*
Fuente: [PRODUCE, 2019]

2.3. Distribución geográfica de las conchas de abanico

Se distribuye desde Panamá hasta Coquimbo en Chile [IMARPE, 2016]. Los principales bancos productivos en nuestro país están situados en bahía Independencia, bahía de Sechura, isla Lobos de Tierra, bahía de Samanco, bahía de Paracas, isla San Lorenzo, isla El Frontón, Los Chimus, isla Blanca, entre otros.

Figura 2.4: *Distribución geográfica de conchas de abanico en el Perú.*
Fuente: Elaboración Propia

En el Perú, su población está distribuida entre 5 a 40 metros de profundidad a lo largo de toda la costa, pero los bancos naturales más grandes y las pesquerías están concentradas en solo dos áreas: la bahía de Sechura en el Norte y bahía Independencia en el Sur.

2.4. Origen y su importancia en el Perú

Si bien el inicio de la acuicultura de conchas de abanico se remonta a la década del setenta como parte de programas experimentales, fue recién en los ochenta cuando adquirió enorme interés. La presencia del fenómeno de El Niño en 1982-1983 incrementó masivamente la población de conchas de abanico, situación que conllevó a la rápida explotación del recurso con fines comerciales (principalmente para el mercado externo), empero este ”boom” fue diluyéndose con el paso de los efectos de dicho fenómeno [IMARPE, 2016].

Entonces surgió la necesidad de mantener una producción de conchas de abanico sostenida, cuya disponibilidad no dependiera de situaciones coyunturales en su medio natural. Se

propició el desarrollo de cultivos en el mar (o maricultura) como alternativa para la explotación permanente y racional de la especie. La maricultura, además de ir de la mano con la preservación y el repoblamiento del recurso, ofrece enormes ventajas al permitir controlar los procesos naturales de las conchas de abanico, sin alterarlos, pero sacando de ellos el mayor provecho posible, obteniéndose así resultados favorables tanto biológicos como económicos. Según estimaciones de la Sociedad Peruana de la Pesquería cada 100 hectáreas de cultivo de conchas de abanico demanda una inversión de US$ 2 millones, y produce cerca de 140 toneladas métricas anuales, generando empleo directo a más de 200 personas [SNP, 2017]. Aunque el cultivo de conchas de abanico en el Perú es relativamente joven, se estima que en la actualidad su producción ya habría superado a la de extracción silvestre [IMARPE, 2016].

2.5. Desarrollo del cultivo en el Perú

Los primeros intentos de cultivo de moluscos se dieron en 1971 - 1972 en la zona de Pisco, ello motivo a que este ente estatal promocionara la actividad de la maricultura, asentándose a partir de 1980 centros de crianza a nivel artesanal, con utilización del fondo marino e instalaciones tipo corral con cercos de paño [SNP, 2017].

En 1975 el Ministerio de Pesquería realizó trabajos experimentales en Punta Ripio, Pisco. Ese mismo año la Universidad San Luis Gonzaga de Ica llevó a cabo estudios sobre cultivos de fondo para concha de abanico y almeja.

En 1980 la Universidad Nacional Agraria La Molina a través de su "Proyecto cultivos marinos Perú" inició estudios sobre aspectos bioecológicos de la concha de abanico en la bahía de Paracas.

El cultivo de la concha de abanico se inicia de forma intensiva en bahía Paracas a partir de 1983, otorgándole un número de 57 concesiones hasta 1985, con un total de 178 hectáreas.

Las primeras experiencias de cultivo suspendido en el Perú se realizaron en 1979, sin embargo esta modalidad no ha tenido el desarrollo que se ha logrado en Chile, porque se dio mayor énfasis al cultivo en corrales de fondo; también señala que las actividades de cultivo se intensificaron en el país, con posterioridad al evento El Niño 1982 -1983, debido al explosivo incremento poblacional que generó, y que dio origen a las exportaciones de este recurso [Castro, 2013].

2.6. Proceso de extracción y producción

El desarrollo del cultivo de concha de abanico se puede hacer mediante sistemas suspendidos o en cultivo de fondo. En el sistema de cultivo suspendido las conchas demoran entre 15 a 17 meses para ser cosechadas, en el sistema de fondo 22 meses.

2.6.1. Sistema de Cultivo Suspendido

Este método de cultivo de origen japonés es aplicado por la gran mayoría de los cultivadores de este molusco, con la finalidad de acortar el tiempo de cultivo.

El sistema de cultivo suspendido tradicional es el de aretado que consiste en hacerle un agujero en la oreja a las valvas por donde luego se pasa un hilo de nylon o gancho de acero inoxidable que luego se fija a la línea de cultivo.

El más usado de los sistemas suspendidos es el sistema de línea de cultivo o "long line"; representa un mayor nivel de inversión y tiene un alto rendimiento de producto por hectárea y consiste en una estructura flotante formada por boyas, cabos y un sistema de anclaje.

Para el fondeo o anclaje se usa fondos de concreto, anclas, pilates y cadenas a fin de contrarrestar el efecto de las diversas fuerzas a las cuales queda sometida la estructura sumergida. Para la flotación se usan boyas que permiten contrarrestar el efecto de la fuerza del peso de las unidades de cultivo. Para el crecimiento o cultivo dependiendo de la etapa se usa linternas, bandejas, bolsitas y los Pearl Nets que son sistemas en forma de pirámide donde cada unidad forma un sistema. Las linternas son estructuras que cuentan con 10 pisos donde se siembran las conchas de abanico según una densidad determinada.

En el cultivo suspendido no importa tanto el sustrato donde se desarrolla la concha de abanico, pero de preferencia debe ser arenoso. El cultivo suspendido tiene menos mortalidad de cultivo por la exposición de los corrales los depredadores, además tiene mayor rendimiento, peso y talla. Este tipo de cultivo es más manejable que el cultivo de fondo; una de las ventajas es su traslado, si es necesario, así como también poder manejar la altura de la suspensión, dependiendo de las circunstancias, que puede ser por presencia de mareas o en su defecto por afloramiento de sedimento del tipo fango.

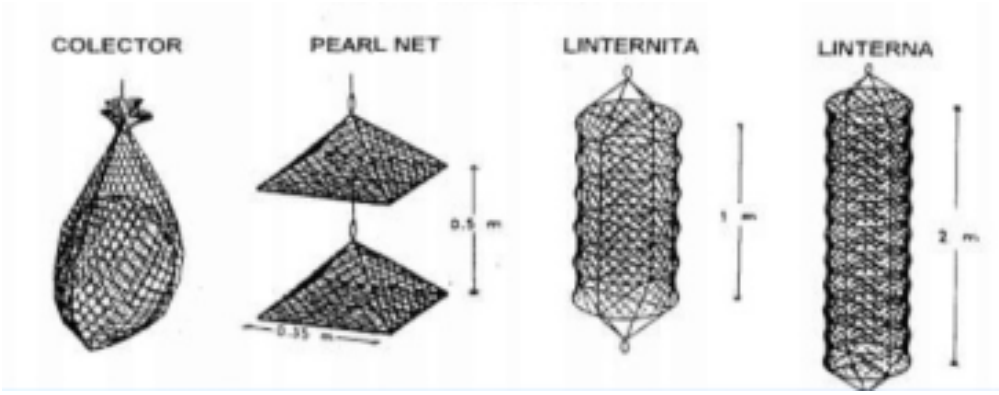


Figura 2.5: *Sistemas de Cultivo Long Line*
Fuente: [PRODUCE, 2019]

2.6.2. Sistema de cultivo de Fondo

Consiste en corrales formados por un cerco de $1 - 2$m. de altura con flotadores en la parte superior, en la parte inferior se mantienen adheridos los corrales al fondo mediante lastres. El tamaño de los corrales varía entre $1 - 3$ Ha. La profundidad en esta zona es de 1.5 a 8 m. Las semillas son sembradas con tallos que oscilan entre 25 y 45 mm de longitud valvar a una densidad de siembra de 100 individuos por m^2. El cultivo de fondo permite cultivar una mayor densidad de individuos por hectárea.

2.6.3. Etapas de cultivo suspendido

Etapa de Cultivo Inicial

Se inicia con la posterior siembra de las semillas; la duración de esta etapa es hasta el momento en que los juveniles alcanzan una talla de 15 mm y son introducidos en Linternas, aproximadamente dura 6 meses y presenta una mortalidad de 20 %. La densidad inicial de siembra puede ser de 700 individuos por piso y la final de 300.

Etapa de Cultivo Intermedio

En esta etapa las Conchas de Abanico pasan de los pearl nets a las linternas, donde permanecerán aproximadamente 8 meses cuando se espera alcancen una talla de 55 mm. En esta etapa la mortalidad es de 5 %. La densidad inicial de siembra es de 250 individuos por piso y la final es de 60.

Etapa de Cultivo Final

Comprende desde el final de la etapa de cultivo intermedio hasta lograr una talla comercial de 8 cm. de longitud y un peso unitario de 25 gramos de músculo y gónada. La densidad de siembra es de 30 individuos por piso. Tiene una duración aproximada de 4 meses.

Cosecha

Se considera el momento para la cosecha cuando la concha de abanico posee un índice gonádico mayor a 15 %, ha alcanzado una talla de 75 mm. y un peso superior a 20 gr. De músculo abductor y gónada.

Desdoble

El proceso de desdoble es la principal operación de manejo en el cultivo suspendido y consiste en la desactivación de los sistemas, tamizado de la concha, siembra en sistema limpio, transporte del cultivo, siembra de linternas en línea. El desdoble se efectúa sobre estructuras flotantes. En el cultivo inicial e intermedio se hacen dos desdobles en cada uno y en el cultivo final se hace sólo uno.

2.7. Problemas identificados

El proceso manual de codificado o clasificación de Conchas de Abanico es una tarea realizada por las personas "Codificadoras" en forma grupal debido al estándar impuesto por la FAO, el tiempo y costo para este proceso son variables escapando del control de la empresa, este proceso es realizado de manera visual el cual puede llegar a tener subjetividad y error por cuestiones de cansancio, también se puede afirmar del estándar que es impuesto de manera grupal más no en conjunto.

Debido a la globalización las empresas optan por automatizar sus procesos para poder controlarlos mejor y así introducir sus productos en el mercado al aumentar su producción, mejorando también las condiciones de trabajo y el prestigio dentro del mercado.

El proceso de automatización de sus procesos realizaría la codificación en lineas de producción paralelas para lo cual se necesita de un algoritmo que clasifique de manera individual, en esto último es donde surge un problema ya que al hacerlo no se tendría en cuenta las características grupales de los productos clasificados de acuerdo al estándar FAO. Adicionalmente, la automatización del proceso de codificación debe emular la subjetividad del proceso manual de las "Codificadoras" de las entidades vendedoras y compradoras que mantiene un balance para que ambas entidades estén satisfechas en el costo resultante de los productos.

Capítulo 3

Estado del arte y trabajos previos

En este Capítulo se introducen los conceptos teóricos necesarios y las técnicas utilizadas en el desarrollo de este trabajo, luego se describe una recopilación de los trabajos existentes previos.

3.1. Sistemas Expertos

Se puede decir que los Sistemas Expertos son sistemas compuestos que contienen procedimientos lógicos que sigue un experto en determinada área del conocimiento [Aguilera et al., 2007]. Este tipo de sistemas se desarrolla con el objetivo de imitar la inteligencia humana y de tener asistencia de un experto en cualquier lugar y en poco tiempo. Uno de los requisitos para implementarlo es poseer el conocimiento de uno o varios expertos con amplia experiencia en el campo del conocimiento que les compete, ya que es la experiencia quien agrega valor al conocimiento.

La estructura básica de un sistema experto es:

1. Base de reglas: son las reglas de producción que indican como manipular los hechos, y transformarlos o producir nuevos hechos hasta encontrar la condición de terminación.

2. Motor de inferencias: es encargado de determinar que reglas son aplicables y seleccionar cual aplicar en un determinado momento, para iniciar un nuevo ciclo, que se llama de reconocimiento y acción, este ciclo termina cuando la condición de terminación es alcanzada.

3. La interfaz de usuario: sirve para que el usuario pueda realizar una consulta en un lenguaje lo más natural posible.

Existen diferentes tipos de Sistemas Expertos, clasificados según el modelo que utilizan, siendo algunos de estos los siguientes:

- Basados en reglas.
- Basados en probabilidad.
- Basados en redes neuronales artificiales.
- Basados en lógica difusa.

3.2. Lógica Difusa

Se ha aplicado la lógica multivaluada a la teoría de conjuntos [Zadeh, 1965], estableciendo la posibilidad de que los elementos pudieran tener diferentes grados de pertenencia a un conjunto. La lógica difusa refleja muy cercanamente la manera en que razonamos los humanos con reglas aproximadas. Esta es una extensión de la lógica clásica diseñada para permitir razonamiento sobre conceptos imprecisos. La lógica difusa es una lógica multivaluada que permite una gradación continua en el valor de verdad de una proposición, al poder utilizar cualquier valor en el intervalo $[0, 1]$.

La lógica difusa en comparación con la lógica tradicional permite trabajar con información que no es exacta para poder definir evaluaciones convencionales, contrario con la lógica tradicional que permite trabajar con información definida y precisa. No es razonable aplicar la lógica difusa cuando algún modelo matemático ya soluciona eficientemente el problema, cuando los problemas son lineales o cuando no tienen solución. Por otro lado la lógica difusa es utilizada también en sistemas de información de conocimiento como las base de datos donde es utilizado para inferir comportamientos, así como sistemas expertos donde los expertos definen reglas con cierto valor de incertidumbre [Soria Barreda et al., 2016].

3.2.1. Conjuntos Clásicos

El punto de partida en la teoría de conjuntos son las nociones de elemento y de conjunto [Aguilera et al., 2007]. Un conjunto típicamente se define como una colección de elementos, los cuales poseen alguna propiedad en común que los hace susceptibles de pertenecer al conjunto. En un conjunto clásico (crisp) se asigna el valor 0 ó 1 a cada elemento para indicar la pertenencia o no a dicho conjunto. El concepto de pertenencia puede expresarse

numéricamente mediante una función característica o de pertenencia, tal como:

$$\varphi A : U \to 0, 1 \tag{3.1}$$

Dada por:

$$\varphi A(x) = \begin{cases} 0 & x \in A \\ 1 & x \notin A \end{cases} \tag{3.2}$$

Ejemplo: Sea el conjunto de estudiantes Lucía, Óscar, Marcos, Roberto, Marta, el predicado P ="no ser de Arequipa" y la siguiente tabla en donde se recogen las ciudades de origen de cada uno de ellos:

Nombre	**Ciudad de Origen**
Lucia	Trujillo
Oscar	Arequipa
Marcos	Arequipa
Roberto	Ica
Marta	Chiclayo

Expresamos el subconjunto de los estudiantes que provienen de otras ciudades, H, de la siguiente forma:

$$H = \{Lucia, Roberto, Marta\} \tag{3.3}$$

La función de pertenencia de A tendrá los siguientes valores:

$$\begin{aligned} \mu P(Lucia) &= 1; \\ \mu P(Oscar) &= 0; \\ \mu P(Marcos) &= 0; \\ \mu P(Roberto) &= 1; \\ \mu P(Marta) &= 1; \end{aligned} \tag{3.4}$$

Cualquier conjunto puede definirse por los pares que forman cada elemento x del universo y su función característica:

$$A = \{(x, \varphi A(x))/x \in U\} \tag{3.5}$$

Por ejemplo, el conjunto $A = \{7, 9, 17, 23, 34, 77\}$ se puede representar por su función

característica

$$\varphi A(x) = \begin{cases} 1, & x \in \{7, 9, 17, 23, 34, 77\} \\ 0, & x \notin \{7, 9, 17, 23, 34, 77\} \end{cases} \tag{3.6}$$

3.2.2. Conjuntos Difusos

Un conjunto difuso [Zadeh, 1965] es un conjunto que puede contener elementos cuya pertenencia al mismo no es absoluta sino gradual. Para cada conjunto difuso, existe asociada una función de pertenencia para sus elementos representada por $\mu A(x) \in A$ esta función determina el grado de verdad de la pertenencia de un elemento a un determinado conjunto difuso.

Mediante notación matemática se define un conjunto difuso como:

$$A = \{(x,\ \varphi A(x))\ /\ x \in U\} \tag{3.7}$$

Otra forma de notación es:

$$A = \{x \mid \varphi A(x)\ /\ x \in U\} \tag{3.8}$$

Ejemplo: Dado el universo de personas $X = \{p_1,\ p_2,\ p_3,\ p_4,\ p_5\}$ y el predicado $B = 4$ "bondad", el subconjunto $J = \{personas\ bondadosas\}$ puede definirse por:

$$J = \{p_1|0{,}5;\ p_2|0{,}9;\ p_3|0{,}2;\ p_4|0{,}4;\ p_5|0{,}6\} \tag{3.9}$$

Mediante la función de pertenencia con los valores:

$$\mu B(p_1) = 0{,}5;\ \mu B(p_2) = 0{,}9;\ \mu B(p_3) = 0{,}2;\ \mu B(p_4) = 0{,}7;\ \mu B(p_5) = 0{,}6 \tag{3.10}$$

Por ejemplo, la persona p_1 es bondadosa con un grado 0.5 mientras que la persona p_3 lo es con grado 0.2

3.2.3. Función de Pertenencia

Los elementos de un conjunto borroso A pueden definirse mediante la función de pertenencia [Singpurwalla and Booker, 2004], la cual denota mediante $\mu A(x) \in [0, 1]$, el grado con el que un elemento x pertenece a A. Esta función empareja los elementos x de un dominio

o Universo de discurso U con elementos del intervalo $[0, 1]$:

$$\mu A : U \rightarrow [0, 1] \tag{3.11}$$

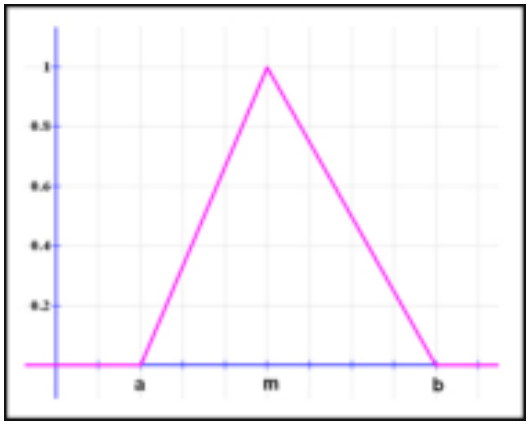
Cuanto más cerca esté $\mu A(x)$ del valor 1, mayor será el grado de pertenencia del elemento x al conjunto difuso A. Los valores de pertenencia varían entre 0 (no pertenece en absoluto) y 1 (pertenencia total).

Las formas de las funciones de pertenencia típicas son trapezoidales, lineales y curvas. A continuación se muestran los tipos de funciones más usados para la caracterización de conjuntos difusos.

- **Tipos de Funciones de Pertenencia** Presentamos a continuación las funciones de pertenencia a utilizar y sus respectivas formas de representación como composición de funciones.

  En las Figuras 3.1 y 3.2 presentamos una descripción gráfica de las funciones de pertenencia a utilizar y sus respectivas representaciones matemáticas expresadas como composición de funciones:

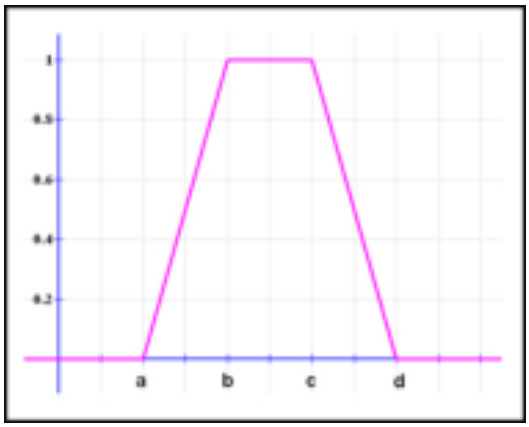
  Triangular



$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & a \leq x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m} & m \leq x \leq b \\ 0 & x > b \end{cases} \tag{3.12}$$

Figura 3.1: *Función Triangular*
Fuente: Elaboración propia

  Trapezoidal



$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{b-x}{b-m} & c \leq x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases} \tag{3.13}$$

Figura 3.2: *Función Trapezoidal*
Fuente: Elaboración propia

3.2.4. Operaciones Difusas

Intersección de conjuntos difusos

Sean dos conjuntos difusos A y B, definidos sobre un mismo universo de discurso, asociados a la variable x. La intersección difusa se define como un conjunto difusos $A \cap B$ cuya función de pertenencia viene dada por:

$$AND : min(A, B) : \mu A \cap B(x) = min[\mu A(x), \mu B(x)] \tag{3.14}$$

Unión de conjuntos difusos

Sean dos conjuntos difusos A y B definidos sobre un mismo universo de discurso, asociados a la variable x. La intersección difusa se define como un conjunto difusos $A \cup B$ cuya función de pertenencia viene dada por:

$$OR : max(A, B) : \mu A \cup B(x) = max[\mu A(x), \mu B(x)] \tag{3.15}$$

3.2.5. Variable Lingüística

Para representar el conocimiento en razonamiento aproximado tenemos que utilizar variables lingüísticas. Una variable lingüística es aquella cuyos valores son palabras o sentencias en un lenguaje natural o artificial [Zadeh, 1965]. De esta forma, una variable lingüística sirve para representar cualquier elemento que sea demasiado complejo, o del cual no tengamos

una definición concreta; es decir, lo que no podemos describir en términos numéricos. Así, una variable lingüística está caracterizada por una quíntupla:

$$(X,\ T(X),\ U,\ G,\ M) \tag{3.16}$$

- X es el nombre de la variable.
- T(X) es el conjunto de términos de X; es decir, la colección de sus valores lingüísticos (o etiquetas lingüísticas).
- U es el universo del discurso (o dominio subyacente). Por ejemplo, si la hablamos de temperatura "Cálida" o "Aproximadamente 25°", el dominio subyacente es un dominio numérico (los grados centígrados).
- G es una gramática libre de contexto mediante la que se generan los términos en T(X), como podrían ser "muy alto", "no muy bajo", etc.
- M es una regla semántica que asocia a cada valor lingüístico de X su significado M(X) (M(X) denota un subconjunto difuso en U).

Los símbolos terminales de las gramáticas incluyen:

- **Términos primarios:** "bajo", "alto", etc.
- **Modificadores:** "Muy", "más", "menos", "cerca de", etc.
- **Conectores lógicos:** Normalmente NOT, AND y OR.

Normalmente se definen los conjuntos difusos de los términos primarios y, a partir de éstos, se calculan los conjuntos difusos de los términos compuestos (por ejemplo, con "muy" y "alto" construimos el término compuesto "muy alto"). Una etiqueta lingüística se forma como una sucesión de los símbolos terminales de la gramática: "Muy alto, no muy bajo...". Un uso habitual de las variables lingüísticas es en reglas difusas.

Ejemplo: *IF* duracion-examen *IS* larga *THEN* probabilidad-aprobar *IS* small. Por ejemplo, la variable lingüística velocidad podrías incluir conjuntos difusos como muy lento, lento, medio, rápido, muy-rápido. Naturalmente cada uno de estos conjuntos representan un valor lingüístico que puede tomar la variable.

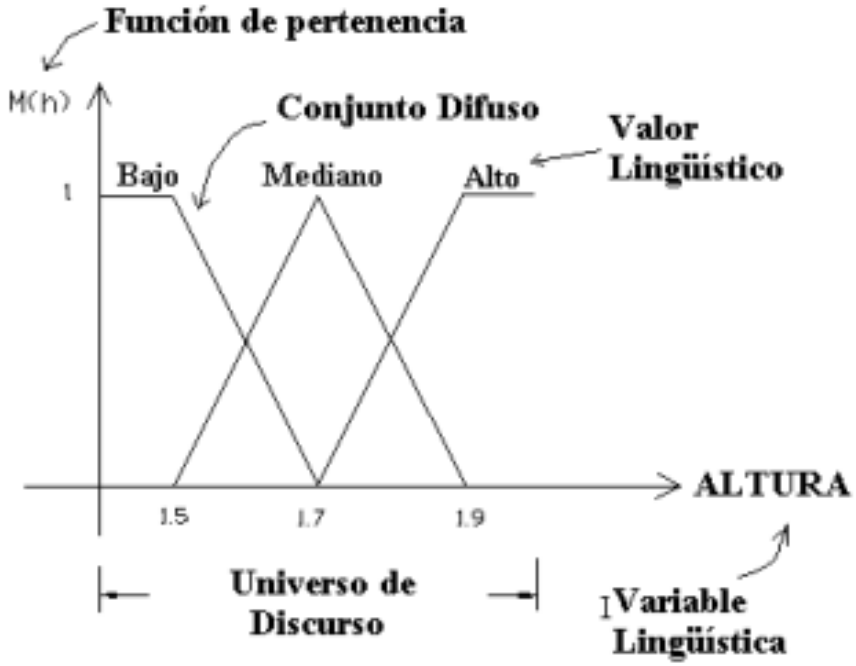


Figura 3.3: *Variable lingüística*
Fuente: [Kosko, 1988]

3.2.6. Reglas Difusas

Mediante el uso de conjuntos difusos es posible dotar de significado matemático a proposiciones como "este coche es pequeño", "Pedro es muy alto" o "el crecimiento es lento" utilizando los modificadores lingüísticos (muy, poco, demasiado, algo, extremadamente, etc.) para adaptar los calificativos a lo que se quiere decir. Así para la representación y utilización del conocimiento impreciso, como hemos visto en la Sección 3.2.5, aparece el concepto de variable lingüística. Muchas veces, la programación clásica no es suficiente para que un sistema realice funciones complejas. Cuando un sistema no ha sido programado explícitamente para realizar una función y se le pide que la realice, el sistema tiene que razonar. Por ejemplo, si el sistema conoce los siguientes hechos: "Estirada es una jirafa", "Las jirafas son mamíferos" y le formulamos la pregunta: "¿Es estirado un mamífero?", el sistema debe razonar para dar una respuesta. Cuando el número de hechos y reglas aumenta, el sistema tiene que poder verificar gran cantidad de hechos que surgen en las etapas de razonamiento. A continuación estudiaremos el concepto de regla difusa empleada en razonamiento aproximado.

El razonamiento aproximado se utiliza para representar y razonar con conocimiento expresado en forma de primitivas atómicas, enunciadas en lenguaje natural. Por ejemplo "La velocidad tiene un valor positivo grande".

La transformación de esta expresión en lenguaje natural, en términos de variables lin-

güísticas se realiza como se indica a continuación:

1. Se selecciona un símbolo V para representar la variable física "velocidad".
2. Se elige un símbolo PG para representar el valor particular "positivo grande" de la variable física "velocidad".
3. La expresión en lenguaje natural pasa a ser: V es PG

A este tipo de expresión se le denomina proposición atómica difusa. La interpretación de la expresión atómica anterior viene dada por la pertenencia de la variable física velocidad V al conjunto difuso PG, es decir $\mu PG(v)$, donde v denota un valor arbitrario del universo del discurso U. Esta interpretación determina el grado en que la expresión es satisfecha dado un valor específico de la variable V. Usando este concepto de proposición difusa y conectores lingüísticos con "AND", "OR" es posible componer proposiciones difusas más complejas "A es X y B es Y", "A es no X", etc. El significado de estas proposiciones difusas compuestas viene dado por la interpretación de las conectores lingüísticos. Esta interpretación se hace en base a las operaciones de intersección, unión, complemento y el operador complemento elegido. Hay que tener en cuenta que, el grado de satisfacción de una expresión constituye un conjunto difuso y, por tanto, estos conectores deben interpretarse mediante operadores de conjuntos difusos.

Una regla difusa (regla de producción difusa if-then) es expresada simbólicamente como: *IF <proposición difusa>THEN <proposición difusa>* Donde *<proposición difusa>* puede ser una proposición atómica o compuesta. Podemos definir una proposición sencilla de este tipo mediante:

P: SI (x es A) ENTONCES (y será C)

El antecedente y consecuente de una regla puede tener múltiples partes. En los sistemas de reglas clásicos, si el antecedente es cierto, el consecuente es también cierto. En sistemas difusos donde el antecedente es difuso, todas las reglas se ejecutan parcialmente, y el consecuente es cierto en cierto grado (si el antecedente es cierto con cierto grado de pertenencia, el consecuente es cierto también cierto grado).

Ver ejemplo de la regla "IF altura IS alto THEN peso IS pesado". El valor de la salida (grado de pertenencia) puede ser estimado directamente empleando un método de inferencia de selección monotónica. En la figura 3.4 se pueden ver cómo varios valores de peso pueden ser derivados de diferentes valores de alturas.

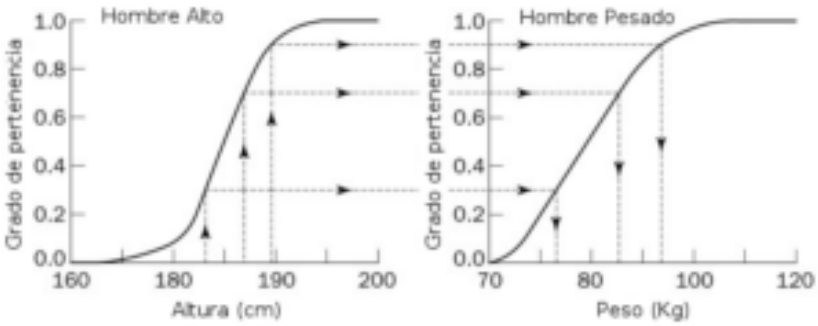


Figura 3.4: *Ejemplo de Inferencia de Selección monotónica*
Fuente: [Aguilera et al., 2007]

3.2.7. Inferencia Difusa

Definición

Para explicar este proceso se presenta un ejemplo utilizando los datos dela Figura 3.3 de donde por cuestiones didácticas se definen tres reglas. Para ello procedemos a definir las variables lingüísticas:

- x: Estatura (cm.).
- y: Peso (kg.).
- z: Riesgo de padecer de colesterol.

Los conjuntos difusos definidos son:

- En X: A_1, A_2, A_3 (promedio, alto, muy alto),
- En Y: B_1, B_2 (promedio, pesado)
- En Z: C_1, C_2, C_3 (bajo, aceptable y alto).

Las reglas definidas por el experto son:

- R_1: IF x es A_1 AND y is B_2 THEN z is C_3
- R_2: IF x es A_2 OR y is B_1 THEN z is C_1
- R_3: IF x es A_3 THEN z is C_2

El proceso de inferencia difusa se realiza en cuatro pasos:

1. Fusificación de las variables de entrada.
2. Evaluación de las reglas.
3. Agregación de las salidas de las reglas.
4. Defusificación.

Fusificación

El primer paso consiste en tomar los valores CRISP de las entradas x (Estatura) e y (Peso) y determinar el grado de pertenencia de estas entradas a los conjuntos difusos asociados. El valor CRISP naturalmente estará limitado en el universo del discurso de la variable. En nuestro caso, x e y estarán limitados al universo del discurso de X e Y respectivamente, para cuestiones del ejemplo se asignará a x un valor del 165 cm. y a y un valor de 85 kg.

Estos valores CRISP se asumirá que corresponden con valores de pertenencia a A_1 y A_2 (en el caso de x) con 0.7 y 0.2, y con los valores de B_1 y B_2 (en el caso de y) con 0.1 y 0.7 respectivamente. De este modo cada entrada se fusifica sobre todas las funciones de pertenencia, de cada conjunto difuso, utilizadas en la reglas difusas.

Evaluación de Reglas

Tomamos las entradas anteriores y se aplican a los antecedentes de las reglas difusas. Si una regla tiene múltiples antecedentes, se utiliza el operador AND y OR para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación. Este número (el valor de verdad) se aplica al consecuente.

Para evaluar la disyunción (operador OR), definida como hemos visto como: $\mu A \cup B(x) = max[\mu A(x), \mu B(x)]$. De igual forma, para el AND se usa habitualmente el estándar del mínimo.

Finalmente el resultado de la evaluación del antecedente se aplica al consecuente, aplicando un recorte o escalado según el valor de verdad del antecedente. El método comúnmente utilizado es el recorte (clipping) que corta el consecuente con el valor de verdad del antecedente. El escalado proporciona un valor más preciso, preservando la forma original del conjunto difuso. Se obtiene multiplicando todos los valores por el valor de verdad del antecedente.

Agregación de las salidas

La agregación es el proceso de unificación de las salidas de todas las reglas es decir, se combinan las funciones de pertenencia de todos los consecuentes previamente recortados o

escalados, combinando para obtener un único conjunto difuso por cada variable de salida.

Defusificación

El resultado final habitualmente es necesario expresarlo mediante un valor CRISP. En esta etapa se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida. Existen varios métodos de defusificación, pero probablemente el más ampliamente usado es el **centroide**; que calcula el punto donde una línea vertical divide el conjunto en dos áreas con igual masa.

$$Centroide = \frac{\Sigma_{x=a}^{b} \mu_A(x)x}{\Sigma_{x=a}^{b} \mu_A(x)} \tag{3.17}$$

3.2.8. Redes Neuronales Difusas - FAM

En 1987 B. KOSKO propuso un modelo de red neuronal que utilizó cómo memoria asociativa para el almacenamiento de reglas de control de un sistema difuso. Esta red es conocida como FAM (Fuzzy Associative Memory).

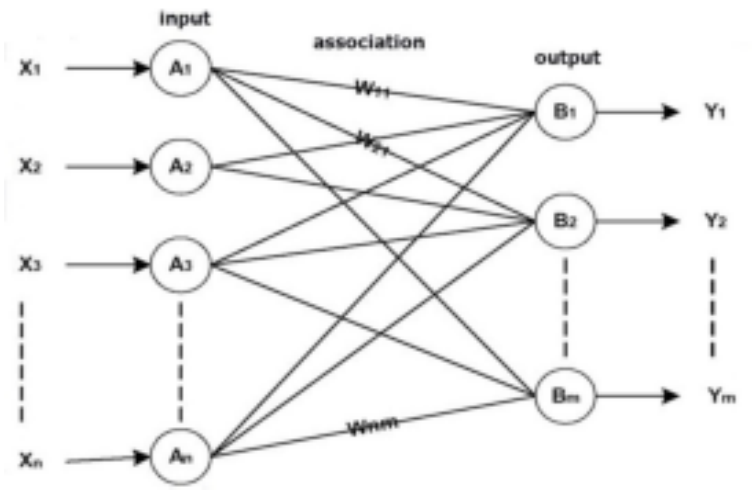


Figura 3.5: *Fuzzy Associative Memory*
Fuente: [Kosko, 1988]

Estas redes almacenan o aprenden parejas de vectores $(A_1, B_1), (A_2, B_2), ..., (A_k, B_k)$. Donde A_k y B_k son los patrones k-esimos que deben aprender a asociar una red, y W, la matriz de pesos entre las neuronas de la capa A y B. Una vez finalizado el aprendizaje, se pueden utilizar estas redes como memorias asociativas para recuperar la información que almacenan, además de permitir posteriormente recuperar un vector B_i a partir de un incompleto A de entrada, también permiten hacerlo en sentido contrario. Este tipo de redes

pueden considerarse compuesta por dos subredes independientes, con conexiones de retro-alimentación, si se tiene en cuenta que cada una de las capas de neuronas puede funcionar como entrada o como salida. La red FAM utiliza el operador lógico difuso composición ($\circ$), tanto en el aprendizaje como durante su funcionamiento. El aprendizaje de estas redes es de tipo hebbiano OFF-LINE. El mecanismo de aprendizaje es:

Cuadro 3.1: *Mecanismo de Aprendizaje*

W	W_{ij}
$A^T \circ B$	$min(a_i, b_j)$

Fuente: [Kosko, 1988]

Para ello, habrá que presentar a la entrada de la red un vector $A \circ B$, que se corresponda exacta o parcialmente con alguno de los utilizados en el entrenamiento. La red generará como salida el correspondiente vector $B \circ A$ que internamente esta asociado al de entrada. La función de activación es de tipo lineal, con lo que la salida coincide con la entrada neta. Esta red es útil para almacenar una regla de control difusa como:

Regla R: Si x es A ENTONCES y será B

Durante la fase de aprendizaje se aplica el algoritmo de aprendizaje hebbiano difuso para registrar en los pesos de la red las funciones de pertenencia ($\mu A(x)$, ($\mu B(x)$) a los conjuntos difusos A y B. Para ello, previamente hay que expresar de forma discreta estas funciones continuas, ya que en los pesos se registraran de esa forma. La utilidad de este tipo de redes se pone de manifiesto si se emplean varias de ellas para formar la base de reglas de su sistema de control borroso. Se usarían K redes FAM, una para cada regla del tipo:

Regla i: Si x es A_i ENTONCES y será B_i

Todas ellas con N neuronas en la capa de entrada (A_i) y M en la capa de salida (B_i). De esta forma, dado un valor de entrada (x) al sistema, se utiliza las K redes FAM para evaluar las correspondientes reglas, para lo cual se debe añadir a la salida una nueva capa M neuronas con función de activación lineal (salida neurona = entrada neta) que reciba los subconjuntos borrosos B_i extraídos de cada red FAM_i y realice la suma de todos ellos para obtener un conjunto global, unión de los anteriores, que permita posteriormente, utilizando alguna técnica de desfusificación, calcular el valor concreto de salida (y) del sistema.

3.3. Codificación de Conchas de Abanico

El proceso manual de Codificado de Conchas de Abanico es una tarea realizada manual y subjetivamente donde las personas "Codificadoras" basadas en su experiencia designan a cada molusco un determinado código de acuerdo al tamaño y a los intereses de la entidad para la que trabajan (ya sea la entidad proveedora o compradora), en el caso que sea de la entidad proveedora, tratarán que el código sea de mayor precio posible, por ejemplo, podemos tener un molusco que pese 22.7 gr., según el Cuadro 3.2 puede ser catalogado como código 20/30, en el caso que la "Codificadora" sea de la entidad compradora, de lo contrario será catalogado 10/20. Actualmente se trata de equilibrar los intereses poniendo "Codificadoras" de ambas entidades para poder codificar de una manera equilibrada y/o balanceada. Cabe mencionar que el código de mayor precio es el 10/20 y el de menor precio, el 60/80.

Cuadro 3.2: *Códigos de exportación de moluscos Conchas de Abanico*

Código	**Unidades/Libra**		**Peso**	
	Min	Max	Min	Max
10/20	–	20	22.7	Más
20/30	21	30	15.1	22.6
30/40	31	40	11.4	15
40/60	41	60	7.6	11.3
60/80	61	80	5.7	7.5

Fuente: FAO

3.4. Trabajos previos

Hoy en día gracias a la globalización las empresas optan por automatizar sus procesos para cumplir con dichos estándares además de aumentar la producción, mejorar las condiciones de trabajo y el prestigio dentro del mercado. Adicionalmente, se requiere de la clasificación de los productos para que puedan ser exportados [SUNAT, 2017], este proceso es sujeto a parámetros establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en ingles); no obstante dichos parámetros son interpretados subjetivamente en base a los intereses de los productores y los consumidores [Pérez-Pinto et al., 2011, Perez-Pinto et al., 2012]. Estos parámetros definidos por la FAO en ocasiones realizan la selección teniendo en cuenta criterios individuales [Piller et al., 2001], [Nanyam et al., 2011] y grupales, en este último es donde surgen dificultades al momento de clasificar productos individualmente (como lo haría el proceso automatizado) ya que al hacerlo no se tendría en cuenta las características grupales de los productos clasificados

[Pérez-Pinto et al., 2011]. También tenemos la aplicación de la lógica difusa en la clasificación de tomates a través de olores para ello se utilizaron sensores quimio-electrónicos [Concepcion et al., 2019]

Por otro lado, la lógica difusa [Zadeh, 1965], es aplicada en varios campos donde se trata con problemas no bien definidos en el ámbito real, se han dado casos como estos. En el campo de la minería [Ghasemi and Ataei, 2012], se utilizó para predecir la tasa de probabilidad de que los techos puedan derribarse en minas de tajo cerrado, hidrología se aplicó [Harp and Vesselinov, 2011] para la estimación de la aceptación de los modelos propuestos en estructuras hidro-geológicas, en mecánica [Uyar and Cunkas, 2012, Mentes and Helvacioglu, 2011] se aplicó en la toma de decisiones para la selección de sistemas a aplicar en diferentes problemas. Por otro lado en marketing [Sohrabi et al., 2011, Piller et al., 2001], se utiliza en modelos que apoyan en la selección de opciones turísticas y opciones de mercadeo. Asimismo en logística [Kumar et al., 2012], se aplicó en la toma de decisiones en la cadena de suministros. La lógica difusa, desde su creación en 1967 ha ido desarrollándose [Zadeh, 1965, Le, 1995], para poder así ser usada en problemas aún más complejos [Li and Tong, 2011].

El presente trabajo propone el uso de la lógica difusa para la automatización de procesos de selección de conchas de abanico, proponiendo además el uso de funciones de pertenencia dinámicas para solucionar la interpretación subjetiva de los parámetros proporcionados por la FAO.

Capítulo 4

Sistema Experto de codificación de Conchas de Abanico

4.1. Reglas Difusas

Para estimar el código de un molusco de conchas de abanico es necesario establecer reglas y así poder armar nuestro modelo difuso, estas reglas son definidas de acuerdo a las siguientes deducciones:

- De acuerdo al Cuadro 3.2 se afirma que un conjunto de 10 moluscos que pesan una libra obtendrían el código 10/20, de la misma forma que un **Conjunto** de 11, 12, 13 hasta uno de 20. Así podemos deducir que el código 10/20 podría ser asignado a **Conjunto** de 10,11,12 y así sucesivamente hasta 20.

- Cada molusco será designado a un grupo "n" de acuerdo al peso del mismo, partiendo del supuesto de que en una libra existirán "n" moluscos todos de aproximadamente $460/n$ gr. (donde 460 gr. es una libra) peso al cual se aproxima el molusco actual.

- Se puede decir que un molusco de 45.2 gr. será catalogado al **Grupo** 10 debido a que se aproxima más a 460/10 es 46 y no del **Grupo** 11 donde 460/11 es 41,8 gr. Como observamos la decisión del **Grupo** designado a un molusco es un tanto impreciso, como ejemplo tenemos un molusco que pese 43 gr. podría ser catalogado como **Grupo** 10 o **Grupo** 11, razón por la cual se da una solución con lógica difusa.

- Se tendrían que armar **Conjuntos** del 10 al 80, resultando computacionalmente caro el cálculo difuso, para evitar esto se conformó **Conjuntos** más compactos, para ello juntamos los códigos más pequeños en uno solo, como observamos en el Cuadro

4.1 los grupos más grandes, debiéndose fundamentalmente a la diferencia entre los resultados de dividir un número constante entre números pequeños(10) y grandes(80), conformaron un solo Grupo como lo son los **Conjuntos** 10, 11, 12, etc.

Cuadro 4.1: *Valores de la variable lingüística grupos*

Grupo	**Conjuntos**	**Grupo**	**Conjuntos**	**Grupo**	**Conjuntos**
Grupo 1	10	Grupo 2	11	Grupo 3	12
Grupo 4	13	Grupo 5	14	Grupo 6	15
Grupo 7	16	Grupo 8	17	Grupo 9	18
Grupo 10	19	Grupo 11	20	Grupo 12	21
Grupo 13	22 - 23	Grupo 14	24 - 25	Grupo 15	26 - 27
Grupo 16	28 - 29	Grupo 17	30 - 32	Grupo 18	33 - 35
Grupo 19	36 - 39	Grupo 20	40 - 43	Grupo 21	44 - 48
Grupo 22	49 - 54	Grupo 23	55 - 62	Grupo 24	63 - 72
Grupo 25	73 - 80				

Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 4.1 podemos observar la variable lingüística de grupos, conformada por los conjuntos difusos determinados por los **Grupos** 1 al 25.

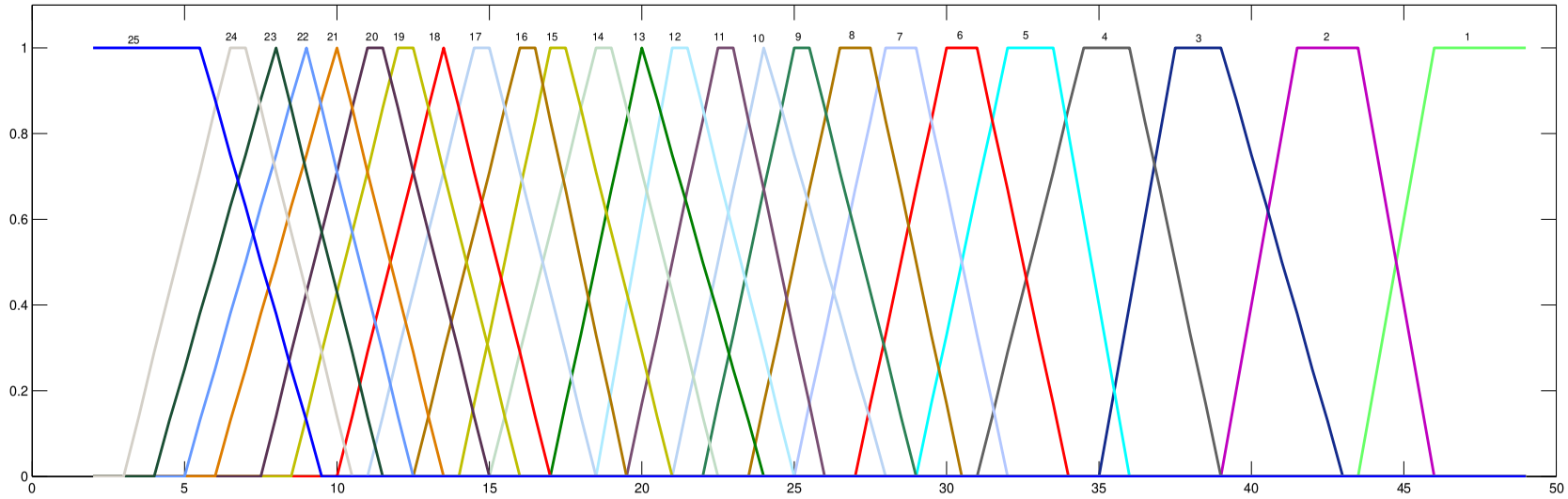


Figura 4.1: *Variable Lingüística Grupos*
Fuente: Elaboración propia

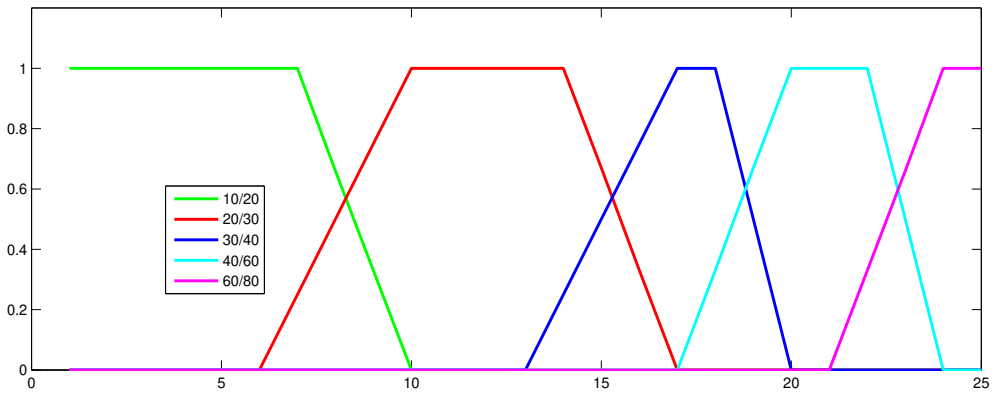


Figura 4.2: *Variable Lingüística Códigos*
Fuente: Elaboración propia

- Luego de definir el Grupo al cual pertenecen los moluscos, se procede a calcular el Código correspondiente a cada molusco, ver Cuadro 4.2. Se puede observar que los Grupos 15, 19 y 23 son imprecisos, debido a que tienen un grado de pertenencia significativo hacia dos Códigos contiguos.

Cuadro 4.2: *Valores de la variable lingüística códigos*

Código	**Grupos**
Código 10/20	1 - 8
Código 20/30	9 - 15
Código 30/40	15 - 19
Código 40/60	19 - 23
Código 60/80	23 - 25

Fuente: Elaboración propia

- En la Figura 4.2 podemos observar la variable lingüística de códigos, conformada por los Conjuntos Difusos 10/20, 20/30, 30/40, 40/60 y 60/80.

Con la formación de estas reglas queda definido que cada peso ingresado de un molusco será evaluado a que grupo pertenecerá, determinado por la división mencionada. Luego de la asignación del grupo se determinará a que código pertenece dependiendo del siguiente

conjunto de reglas difusas. Como es de saber es importante que estas reglas sean difusas dado que esta de por medio el error humano y su respectiva subjetividad.

4.2. Desplazamiento de funciones de pertenencia

Función de Pertenencia Dinámica

Función de Pertenencia (FP) esta definida [Singpurwalla and Booker, 2004], por una composición de funciones, las cuales pueden ser desplazadas horizontalmente, ver Figura 4.3. Obteniendo de este modo una variación en la respuesta difusa, a este concepto se optó por llamar funciones de Pertenencia Dinámicas, debido a su desplazamiento en tiempo de ejecución.

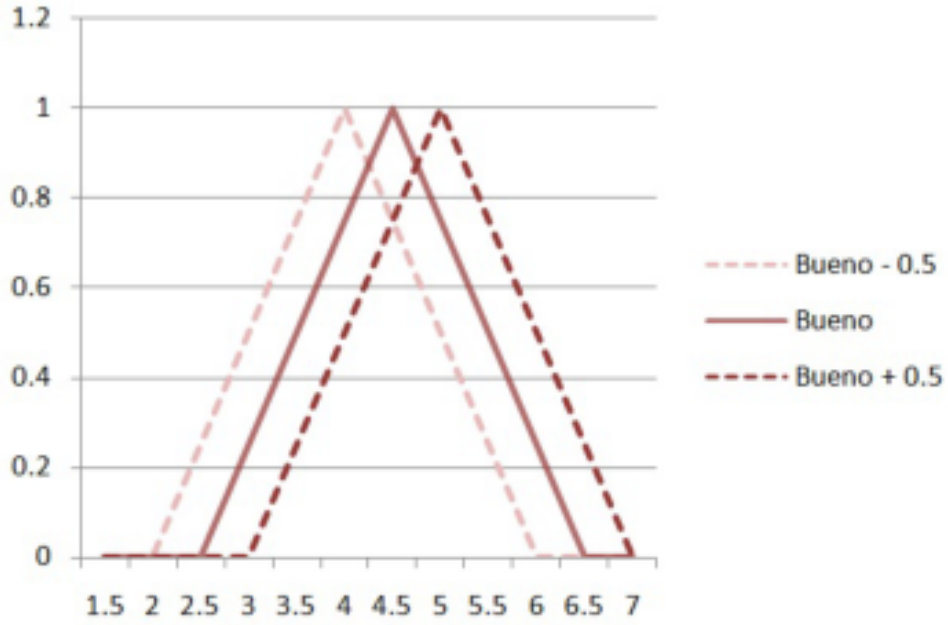


Figura 4.3: *Desplazamiento de funciones*
Fuente: Elaboración propia

En el desarrollo del trabajo, se encontró un problema al momento de desplazar un conjunto difuso, el cual deja un alto grado de sobre-posición sobre el conjunto difuso *Normal* como se puede observar en el valor difuso $Bueno + 0{,}5$, en caso contrario sucede con el valor difuso $Bueno - 0{,}5$, ver Figura 4.4, ambos casos varían la respuesta difusa arrojada por la regla, ello se solucionó modificando el umbral de decisión de acuerdo a una función de regresión lineal, obtenida luego de analizar la variación en cada grado de desplazamiento.

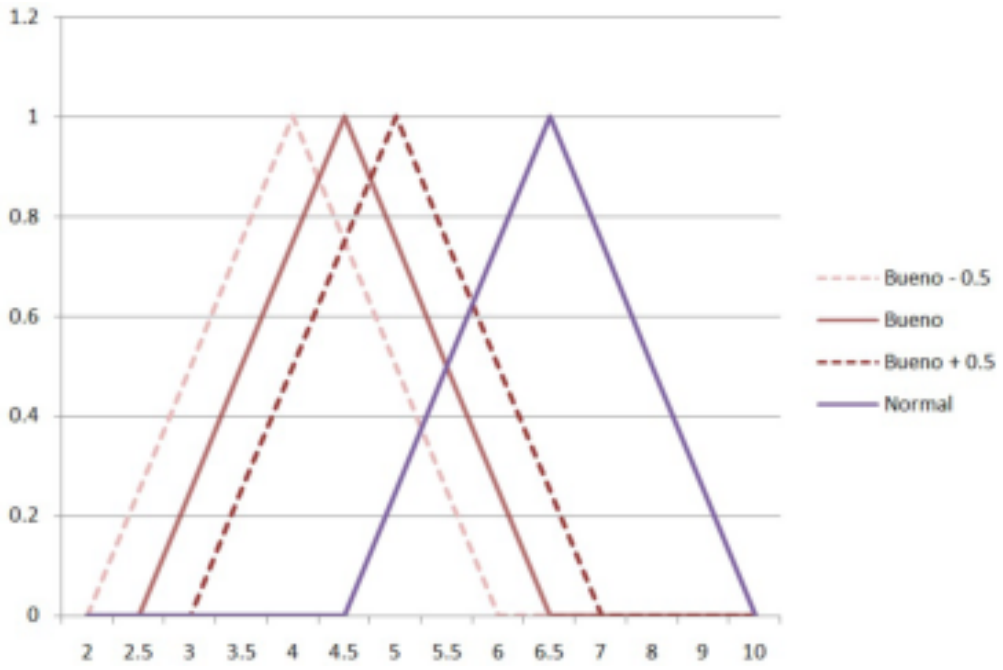


Figura 4.4: *Decisión errónea*
Fuente: Elaboración propia

Para solucionar el problema de "Equitatividad" utilizamos el concepto de función de pertenencia dinámica, para desplazar los Grados (funciones) de Pertenencia teniendo como decisión el análisis de los moluscos ingresados con anterioridad (Historial). Para esta fase se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los valores difusos se desplazan en parejas contiguas, es decir 10/20 con 20/30 ó 20/30 con 10/20, con la intensión de variar la decisión difusa en forma negativa o positiva, respectivamente.
- La decisión de un desplazamiento positivo, depende del número de moluscos designados como código menor (20/30) que tiene un alto grado de probabilidad de ser un código mayor (10/20).
- La decisión de un desplazamiento negativo, depende del número de moluscos designados como código mayor (10/20) que tiene un alto grado de probabilidad de ser un código menor (20/30).

4.3. Estructura del modelo propuesto

La función de pertenencia en un conjunto difuso es una composición de diferentes tipos de funciones, donde se puede encontrar funciones polinomiales, lineales, exponenciales, en-

tre otras. Para ello podemos representar una función de pertenencia como se muestra en la Ecuación (4.1), se puede observar que el comportamiento del rango depende entre que intervalo del dominio se encuentra el valor de x. Dependiendo de ello se obtiene el grado de pertenencia, el cual está entre 0 y 1.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} f_1(x); & \text{Si } x \leq a \\ f_2(x); & \text{Si } a < x \leq b \\ f_3(x); & \text{Si } b < x \leq c \\ f_4(x); & \text{Si } c < x \leq d \end{cases} \tag{4.1}$$

Luego de realizar un proceso de desplazamiento en k unid. en la Ecuación (4.1) se nota la variación en su definición resultando la Ecuación (4.2), donde la definición de cada función se desplaza reflejando este comportamiento en su gráfica respectiva (para un mejor entendimiento ver Figura 4.3.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} f_1(x+k); & \text{Si } x \leq a \\ f_2(x+k); & \text{Si } a < x \leq b \\ f_3(x+k); & \text{Si } b < x \leq c \\ f_4(x+k); & \text{Si } c < x \leq d \end{cases} \tag{4.2}$$

Variando la definición de una función matemática se modifica directamente su comportamiento y en consecuencia los valores de su vector difuso de salida. Luego, el desplazamiento representa una forma de alteración de una función de pertenencia representando de este modo alteraciones en los conjuntos difusos resultantes teniendo mucha relevancia en lo que a reglas difusas respecta. Las reglas difusas pueden ser representadas por matrices (Memoria Difusa Asociativa - FAM)[Kosko, 1988, Kosko, 1986] que son construidas a partir del conocimiento de la persona experta en el dominio de la aplicación y poder ser consultadas posteriormente. En (4.3) y (4.4) se representan las funciones de pertenencia del conjunto difuso de entrada y salida, respectivamente.

$$\mu_U(x) = \begin{cases} \frac{x}{2}; & \text{Si } 0 < x \leq 2 \\ 1; & \text{Si } 2 < x \leq 3 \\ \frac{5}{2} - \frac{x}{2}; & \text{Si } 3 < x \leq 5 \\ 0; & \text{Si } 5 < x \end{cases} \tag{4.3}$$

$$\mu_V(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{2}; & \text{Si } 0 < x \leq 2 \\ 0; & \text{Si } 2 < x \end{cases} \tag{4.4}$$

4.4. Propuesta e implementación de "redes FAM dinámicas"

Para construir una regla difusa usando una red FAM se necesita discretizar estas funciones de pertenencia en arreglos, obteniendo de este modo vectores como se observa en la Figura 4.5. Posteriormente, en la Figura 4.5 se observa que un vector difuso de salida, representado por un arreglo de salida $Output_V$, es el resultado del producto matricial lógico entre la matriz que representa a la regla y el vector de entrada $Input_U$, de la parte izquierda. De donde se puede deducir que el vector de salida depende directamente del contenido de la regla-matriz desarrollada [Zadeh, 1965].

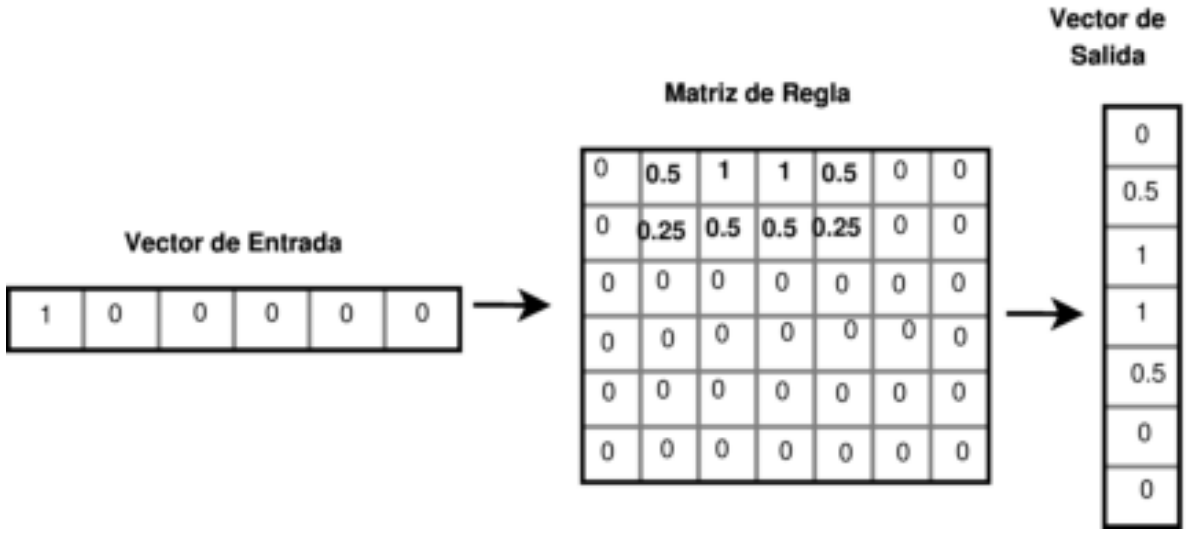


Figura 4.5: *Consulta a una Regla Difusa*
Fuente: Elaboración propia

El procedimiento para construir la regla difusa es utilizando la composición Max-Min "$\circ$". Donde el vector difuso de salida B_V es el resultado de la composición Max-Min entre el vector de entrada A_U y M.

$$A_U \circ M = B_V \tag{4.5}$$

Donde $A = (a_1, ..., a_u)$ es un vector en el espacio U y $B = (b_1, ..., b_v)$ un vector en el espacio V. M es una matriz difusa UxV que almacena la regla difusa.

$$b_j = max_{1 \leq i \leq n} min(a_i, m_{i,j}) \tag{4.6}$$

Teniendo en cuenta lo expuesto hasta esta parte se muestra matemáticamente el comportamiento de las funciones de pertenencia dinámicas. En la Figura 4.6 se aprecia la dis-

cretización de las dos funciones de pertenencia que dan lugar a sendos conjuntos difusos que representan al "Antecedente" y "Consecuente" respectivamente, para luego encontrar la representación matricial de la regla difusa (Red FAM) que engloba a ambos. Posteriormente se puede apreciar a los valores rojos que representan al patrón almacenado por la regla en mención.

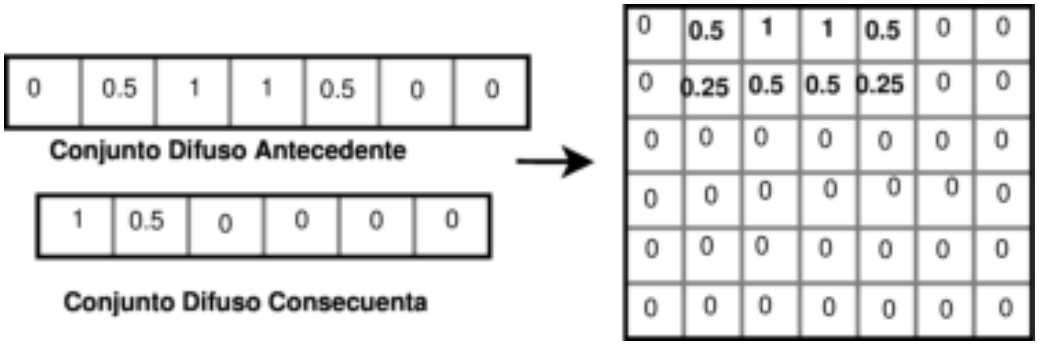


Figura 4.6: *Interpretación Matemática de una Regla Difusa*
Fuente: Elaboración propia

Posteriormente, al desplazar la función de pertenencia una unidad hacia la derecha del "antecedente", en la Figura 4.7 se aprecia una alteración en la ubicación de los valores rojos, lo cual influiría en el instante de hacer consultas a la respectiva regla. Demostrando la alteración de los resultados a partir del desplazamiento de funciones de pertenencia tanto del "antecedente" como del "consecuente".

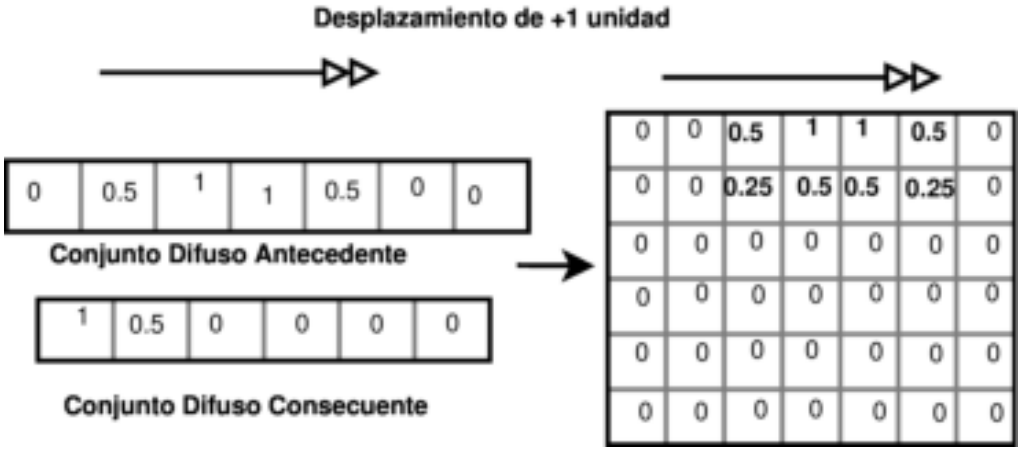


Figura 4.7: *Comportamiento de una Regla Difusa Desplazada*
Fuente: Elaboración propia

4.5. Diagrama de flujo del proceso de clasificación de conchas de abanico

El proceso de clasificación o codificado de Conchas de Abanico se realiza en un ambiente de la planta de la empresa, donde se reúnen las "codificadoras" de los proveedores y de los consumidores. Como se vio en la sección 3.3 este proceso se define gracias a parámetros de calidad colectivos, es decir su grado de calidad esta dado por características en conjunto de los moluscos.

Los procesos que tienen parámetros de calidad en base a cualidades colectivas tienen problemas para automatizarse [Sun and Brosnan, 2003a], [Sun and Brosnan, 2003b]. Como se expuso en la Sección 4, es necesario determinar un umbral difuso para cada clase definida, de este modo se asegura que cada producto se clasifique dentro de cada `Clase` teniendo en cuenta las cualidades en colectivo.

Para el proceso de clasificación (codificación) de conchas de abanico se propone el diagrama de flujo de la Figura 4.8.

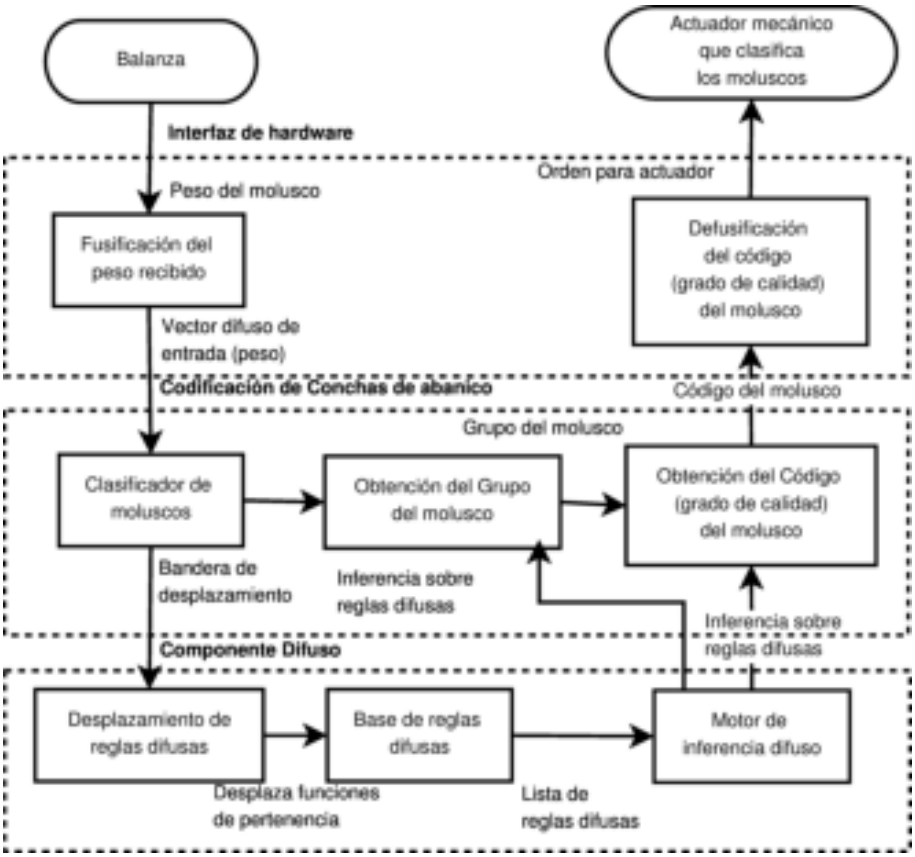


Figura 4.8: *Proceso de automatización y clasificación de conchas de abanico*
Fuente: Elaboración propia

- El proceso recibe de entrada el peso ingresado mediante una interfaz electrónica entre la computadora y una balanza.
- Obtenido el peso, se procede a fusificar el valor y obtener el vector difuso de entrada que representará al peso obtenido.
- Una vez obtenido el vector difuso de entrada, se procede con el análisis a partir de las reglas definidas, en la Sección 4, para cada `Clase`.
- Efectuado el análisis y desplazamiento de las reglas difusas, se procede a encontrar un conjunto estimado para el molusco pesado, para ello se utiliza el motor de inferencia difuso el cual utiliza las reglas difusas de la primera capa.
- Se procede a calcular el código respectivo, para lo cual se utilizan las reglas de la segunda y última capa.
- Luego de obtener el código respectivo procedemos a clasificar el producto actual para ello el sistema defusifica el vector difuso de salida utilizando el método del centro de gravedad [Hoseini et al., 2010], el valor obtenido será sometido a los umbrales por cada grado de calidad y poder obtener la `Clase` para el molusco. Finalmente, se procede a actualizar el historial respectivo de la `Clase` obtenida para posteriormente emitir las señales de control para las compuertas (actuadores) que derivarán a un camino de acuerdo al código.

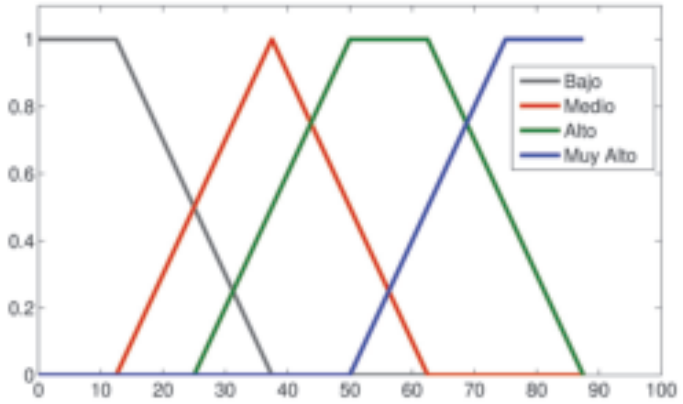


Figura 4.9: *Reglas difusas para decidir el desplazamiento*
Fuente: Elaboración propia

- Al finalizar la emisión de la señal de control, que deriva al molusco actual a su ruta respectiva. El sistema procede a decidir que desplazamientos realizar en base a reglas

difusas ver Figura 4.9, que reciben como entrada el porcentaje del peso actual de cada clase con respecto al total estimado (ingresado a planta). El sistema difuso, determina la "cantidad difusa" de moluscos de cada clase, para en base a ello definir las parejas que serán desplazadas.

Capítulo 5

Análisis y pruebas

El Capítulo de pruebas y análisis se hizo utilizando los parámetros para la clasificación de Conchas de Abanico. Se validó las pruebas con los valores extraídos de la planta de la empresa Chatsford S.A.C., ubicada en la ciudad de Pisco−Perú, que se desempeña en el rubro de industria pesquera exportando conchas de abanico y conservas de pescado.

5.1. Implementación del modelo

El modelo propuesto fue implementado con software libre usando Eclipse para gcc de Linux como IDE, gcc como compilador y la librería OpenCV para el procesamiento de datos vectoriales.

Las pruebas fueron desarrolladas en un CPU: Core i5 de 2.4Ghz con 8Gb de RAM. La conexión con la balanza se estableció con interfaz serial. Para escoger el sistema operativo a utilizar en la computadora, se tuvieron como consideraciones:

- Bajo consumo de memoria y recursos para que estos sean priorizados para los sistemas de control y procesamiento.
- La distribución a utilizar debe ser configurable desde su instalación para decidir los componentes a utilizar.
- Debe tener un manejo de priorización de procesos del "scheduller" del sistema operativo.

Teniendo en cuenta las consideraciones para elegir el sistema operativo se escogió la distribución de Linux Gentoo [Gentoo, 2019].

5.2. Base de datos de moluscos para pruebas

Para el presente trabajo gracias al apoyo de Chatsford SAC, se obtuvo la información de un proceso llevado a cabo en la planta, donde se nos facilitó los códigos asignados a un conjunto de moluscos según el Cuadro 5.1, en la misma se describen en grupos de pesos las muestras recibidas, para ello se agrupo de acuerdo al peso teniendo intervalos más cortos entre los limites de códigos contiguos. Así mismo, se calculó manualmente dividiendo el valor en gramos de una libra con el valor menor del intervalo dejando un margen de error para el calculo del código.

Cuadro 5.1: *Pesos de moluscos para proceso de pruebas del modelo*

Peso	Unidades	Código asignado linealmente
45.2gr. - 40.0gr.	12	10-20
39.9gr. - 30.0gr	19	10-20
29.9gr. - 25.0gr.	25	10-20
24.9gr. - 23.0gr.	35	10-20
22.9gr. - 22.5gr.	45	10-20
22.4gr. - 20.0gr.	36	20-30
19.9gr. - 15.0gr.	67	20-30
14.9gr. - 11.5gr.	73	30-40
11.4gr. - 11.0gr.	46	40-60
10.9gr. - 7.5gr.	49	40-60
7.4gr. - 7.0gr.	51	60-80
6.9gr. - 5.7gr.	40	60-80

Fuente: Elaboración propia

5.3. Análisis del proceso manual de codificado de conchas de abanico

El proceso manual de codificación de conchas de abanico se lleva a cabo en un ambiente implementado con todos los protocolos de seguridad respectivos. En la Figura 5.1 se puede apreciar los EPP's (Equipo de Protección Personal) utilizados por el personal encargado del proceso.

Figura 5.1: *Proceso manual de codificado de conchas de abanico*
Fuente: Chatsford SAC

El Cuadro 5.2 muestra los resultados obtenidos del proceso manual, de codificación de conchas de abanico realizado a los 498 moluscos facilitados por Chatsford, donde podemos visualizar un error promedio de 95 %.

Los resultados de la selección manual fueron obtenidos de la manera siguiente:

- El proceso de selección estuvo a cargo de los expertos.
- Terminado el proceso de selección, se procedió a pesar cada molusco clasificado y de acuerdo a los parámetros del Cuadro 3.2 se asignó un código a cada uno, obteniéndose de esta manera el Cuadro 5.2.
- Los resultados obtenidos por parte del proceso manual se deben a que en su desarrollo las personas expertas toman en cuenta su experiencia y la agudeza visual obtenida con el tiempo. Gracias a estos factores este tipo de selección llega a tener una rapidez en la clasificación de 1 kg. de moluscos clasificados en aproximadamente 5 minutos.

Cuadro 5.2: *Matriz de confusión del proceso manual de codificado*

	Códigos					Error %
	10/20	**20/30**	**30/40**	**40/60**	**60/80**	
10/20	97	3	0	0	0	94 %
20/30	2	93	5	0	0	93 %
30/40	0	3	94	1	0	96 %
40/60	0	0	3	94	3	94 %
60/80	0	0	0	4	96	96 %

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados obtenidos del proceso manual podemos asumir que este posee un error aceptable debido a la subjetividad con la que se realiza el mismo, adicionalmente es esta subjetividad lo que lo hace ser aceptado por las partes involucradas en el procesos como son las entidades proveedoras y compradoras, en ese sentido es recomendable tener una grado de subjetividad similar en el proceso automatizado que se quiere realizar.

5.4. Pruebas del proceso automatizado de codificado de conchas de abanico

El proceso para validar el modelo propuesto se realizará ingresando en un archivo plano los pesos facilitados por Chatsford hacia el programa para obtener el código de cada molusco.

Para la etapa de producción este peso será facilitado por una balanza electrónica que encontrará ubicado debajo de las fajas transportadoras, para esta balanza se programará un componente que enviaría la información del peso mediante sockets hacia el programa que tiene el modelo propuesto, este programa dependiendo del código obtenido accionará un servomotor para desviar a una determinada bandeja el molusco que se encuentra en la linea de producción.

Luego de realizar la obtención de un código para cada uno de los pesos de los moluscos se obtiene el Cuadro 5.3 donde se muestra los resultados del modelo del presente trabajo, demostrando así un grado de eficiencia promedio de 91 %.

Cuadro 5.3: *Matriz de confusión del proceso automatizado de codificado*

	Códigos					Error %
	10/20	**20/30**	**30/40**	**40/60**	**60/80**	
10/20	95	5	0	0	0	95 %
20/30	4	87	9	0	0	87 %
30/40	0	5	91	2	0	93 %
40/60	0	0	8	90	2	90 %
60/80	0	0	0	7	93	93 %

Fuente: Elaboración propia

Luego de realizadas las pruebas tenemos alguna conclusiones obtenidas:

- Se compararon contra los códigos obtenidos de forma manual y los estimados por el sistema para el molusco de concha de abanico, para ello se desarrolló una matriz de confusión de los resultados arrojados por el sistema difuso (ver Cuadro 5.4).
- Los mayores errores obtenidos están en los códigos 20/30, 30/40 y 40/60, se deben principalmente a la sobre-posición que se tiene entre códigos contiguos, en contraste se observa también que los errores menores son de los códigos extremos que cuentan únicamente con un código hacia el extremo interno.
- Se compararon los resultados arrojados por el sistema difuso con datos obtenidos del proceso manual, y se puede validar el modelo propuesto debido a que se tiene un margen de error (91 %) similar al obtenido en el proceso manual (95 %).

Cuadro 5.4: *Cuadro de comparación del proceso automatizado de codificado*

Código	**Tipo Selección**	**Código Obtenidos**				
		10/20	**20/30**	**30/40**	**40/60**	**60/80**
10/20	Manual	97	3	0	0	0
	Automatizada	95	5	0	0	0
20/30	Manual	2	93	5	0	0
	Automatizada	4	87	9	0	0
30/40	Manual	0	3	94	1	0
	Automatizada	0	6	91	3	0
40/60	Manual	0	0	3	94	3
	Automatizada	0	0	8	90	2
60/80	Manual	0	0	0	4	96
	Automatizada	0	0	0	7	93

Fuente: Elaboración propia

Adicionalmente, en el Cuadro 5.5 se tiene los resultados del sistema difuso dinámico, gracias a las redes FAM dinámicas, luego de desplazar por parejas los conjuntos difusos contiguos. Como se puede observar los intervalos de la pareja desplazada modifica los valores obtenidos luego de ser sometidos al método del centro de gravedad [Hoseini et al., 2010], alterando de esta manera el producto de las decisiones del sistemas difuso.

Cuadro 5.5: *Resultados de desplazamiento por parejas*

Pareja Desplazada	**Desplazamiento**	**Intervalos de pertenencia por código** (*gr.*)				
		60/80	**40/60**	**30/40**	**20/30**	**10/20**
Ninguna	0	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46
10/20 - 20/30	0.8	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-25	25.5-46
	-0.8	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-28	28.5-46
20/30 - 30/40	0.8	6-8.5	9-13	13.5-15.5	16-26.5	27-46
	-0.8	6-8.5	9-13	13.5-18.5	19-26.5	27-46
30/40 - 40/60	0.8	6-8.5	9-12	12.5-17	17.5-26.5	27-46
	-0.8	6-8.5	9-14	14.5-17	17.5-26.5	27-46
40/60 - 60/80	0.8	6-7	7.5-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46
	-0.8	6-9.5	10-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo al Cuadro 5.5 podemos visualizar como se modifica el umbral de pertenencia de un molusco a un determinado código. Así tenemos el código 30/40 que en condiciones normales los moluscos entre los pesos de 13.5 y 17 pertenecería a este código, modificando en tiempo de ejecución la red FAM podemos hacer que este intervalo varíe de acuerdo a las condiciones del momento así realizando un desplazamiento de 0.8 a la derecha tendríamos el intervalo modificado a 13.5 y 15.5 y realizando el desplazamiento a la izquierda el intervalo resultaría en 13.5 y 18.5.

Este desplazamiento en tiempo de ejecución se puede realizar por cada molusco ingresado a la linea de producción este proceso puede ser programado de forma que se ejecute al cumplir determinadas condiciones como:

- Número de moluscos clasificados por un determinado código.
- Tamaño promedio de los moluscos de un determinado código.
- Negociación entre las entidades proveedoras y compradoras.

Capítulo 6

Conclusiones y Trabajos Futuros

6.1. Conclusiones

Luego de obtener la validación del presente trabajo podemos deducir y sacar conclusiones dependiendo de los objetivos propuestos.

PRIMERA.- El capítulo 2 describe el procedimiento manual del codificado de conchas de abanico, el cual sirve para el presente trabajo a tenerlo de referencia para el capitulo de pruebas y servir de documentación del proceso realizado para la producción de conchas de abanico.

SEGUNDA.- El proceso de codificación se adapta mejor para que utilice reglas difusas debido a que las consideraciones para su clasificación responden a una serie de variables y parámetros definidos de manera subjetiva, como se vio en los trabajos previos la Lógica Difusa tiene buenos resultados en el campo de automatización debido a su aproximación a las etiquetas (`Clases`) definidas en el problema simulando la clasificación manual, dado que este último esta sujeto al pensamiento humano el cual esta definido por una inferencia cualitativa, basándose en aproximaciones más no en exactitud.

TERCERA.- Las funciones de pertenencia dinámicas, propuestas en el presente trabajo, ofrecen ventajas al momento de diseñar reglas sensibles a parámetros externos, debido a que se puede calibrar su comportamiento de acuerdo a las exigencias del usuario. Del mismo modo, la implementación del desplazamiento de funciones sobre Lógica Difusa tiene buenos resultados, demostrando de esta manera que puede ser aplicado a otras áreas como mecánica, control electrónico, entre otros. Adicionalmente, simula la decisión de un experto resolviendo de forma satisfactoria la alta subjetividad del problema.

CUARTA.- La comparación entre los códigos obtenidos por el proceso de clasificación manual y el automatizado del presente trabajo demuestran que el modelo propuesto le puede

dar a la empresa dueña del producto un prototipo para la clasificación de conchas de abanico y poder optimizarse e implementarse en un futuro cercano, satisfaciendo de esta manera los "intereses" de los consumidores y productores consiguiendo así una mejora en las relaciones entre ambas partes.

QUINTA.- Finalmente podemos concluir que el presente trabajo queda validado al cumplirse los objetivos específicos, adicionalmente se proporciona a la literatura una nueva forma de funciones de pertenencia para su aplicación en diferentes problemas que se puedan presentar.

6.2. Trabajos Futuros

El presente trabajo abre un rumbo de investigación sobre la transformación de funciones y su trascendencia sobre las reglas difusas, dejando a criterio del lector su aplicación en diferentes problemas donde se puede desempeñar este tipo de propuesta. Adicionalmente, se pueden aplicar los aportes del presente trabajo en el entrenamiento de reglas difusas, así como su continuo aprendizaje debido a que puede modificarse su aprendizaje en tiempo de ejecución.

Apéndice A

Artículo presentado en el Congreso Latinoamericano de Estudiantes en Informática (CLEI). Medellín - Colombia, 2012

Clasificación automatizada de productos agro-industriales usando funciones de pertenencia dinámicas en sistemas difusos: Caso conchas de abanico

Roy Pérez-Pinto[†*], Christian Portugal-Zambrano[*] y
Dennis Barrios-Araníbar[*]
[*]Centro de Investigación y Desarrollo de Software
Cátedra Concytec in TIC´s
Universidad Nacional de San Agustín
[†]Sociedad Peruana de Computación
Email: royhelbert85@gmail.com, christ.pz.cs@gmail.com, dennisbarrios@gmail.com

***Resumen*—Automatizar la clasificación de productos agro-industriales, requiere resolver problemas como la interpretación subjetiva de parámetros y las características de selección que definen el proceso. Evaluar estos parámetros es subjetivo, pues tanto los consumidores como los productores estiman valores diferentes dependiendo de sus intereses, teniendo como referencia la oferta y demanda del mercado. Así mismo, los criterios de selección para estos parámetros definen criterios individuales y/o grupales, dificultando el proceso puesto que la clasificación automatizada se desarrolla en líneas de producción separadas, sin tener en cuenta las características en conjunto. En este artículo se propone un modelo difuso de funciones de pertenencia dinámica que varían dependiendo de factores externos (intereses), buscando así automatizar la clasificación de productos agro-industriales bajo los factores detallados. Se clasificaron 500 moluscos de conchas de abanico, 100 para cada clase, logrando una eficiencia de 91%, resultado un modelo recomendable para problemas similares.**

***Palabras Claves*—Lógica Difusa, Función de pertenencia, Desplazamiento, Automatización, Conchas de abanico.**

***Abstract*—Automate the classification of agro-industrial products, requieres solving problems such as the subjective interpretation of parameters and characteristics that define the selection process. Evaluate these parameters is subjective, as both consumers and producers estimate different values depending on their interests, with reference to the offer and demand of products in the market. Likewise, the selection criteria for these parameters define individual criteria and / or group, making the process as automated sorting takes place in separate production lines, without considering the characteristics of products together. This paper proposes a fuzzy model of dynamic membership functions that vary depending on external factors (interest), seeking to automate the classification of agro-industrial products under the detailed factors. 500 were classified Peruvian Scallops, 100 for each kind, achieving an efficiency of 91 %, resulting in a recommended model for similar problems.**

***Index Terms*—Fuzzy Logic, Membership Function, Automation, Shifting, Peruvian Scallop**

I. Introducción

La globalización exige a la industria de alimentos cumplir con estándares de calidad, higiene, integridad y seguridad en sus procesos de producción [30]. En ese sentido las empresas optan por automatizar sus procesos para cumplir con dichos estándares además de aumentar la producción, mejorar las condiciones de trabajo y el prestigio dentro del mercado. Adicionalmente, se requiere de la clasificación de los productos para que puedan ser exportados [15], este proceso es sujeto a parámetros establecidos por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO, por sus siglas en ingles); no obstante dichos parámetros son interpretados subjetivamente en base a los intereses de los productores y los consumidores [18]. Estos parámetros realizan la selección teniendo en cuenta criterios individuales [7], [24] y grupales, en este último es donde surgen dificultades al momento de clasificar productos individualmente (como lo haría el proceso automatizado) ya que al hacerlo no se tendría en cuenta las características grupales de los productos clasificados [18].

Por otro lado, la lógica difusa [1], es aplicada en varios campos donde se trata con problemas no bien definidos en el ámbito real, se han dado casos como estos en la minería [29], hidrología [21],[19], marketing [20],[7], mecánica [28], comercio [31]. Así mismo, la lógica difusa, desde su creación en 1967 [1], ha ido desarrollándose [4] para poder así ser usada en problemas aún más complejos [23]. En consecuencia, el presente artículo propone el uso de la lógica difusa para la automatización de procesos de selección de productos agroindustriales, proponiendo además el uso de funciones de pertenencia dinámicas para solucionar la interpretación subjetiva de los parámetros proporcionados por la FAO.

El presente trabajo está organizado de la siguiente manera: la Sección 2 describe algunos conceptos y trabajos encontrados en la literatura sobre lógica difusa, para luego en la Sección 3, se define el concepto de funciones de pertenencia dinámicas luego en la Sección 4, se describe su aplicación en procesos de clasificación automatizada. En la Sección 5, se describe la aplicación de este trabajo al caso particular de conchas

de abanico. En la Sección 6, se describen los resultados y finalmente en la Sección 7, se realizan las conclusiones del algoritmo propuesto y un análisis de trabajos futuros recomendados por los autores.

II. Lógica Difusa

La lógica difusa permite tratar información imprecisa, en términos de conjuntos difusos veremos que estos se combinan en reglas para definir acciones que representan las variables definidas por el experto del problema en cuestión. De esta manera, los sistemas de control basados en lógica difusa combinan una variable de entrada (definidos en términos de conjuntos difusos), por grupos que producen uno o varios valores de salida [2].

La teoría de lógica difusa parte de la teoría clásica de conjuntos, añadiendo una función de pertenencia al conjunto, definida ésta como un número real entre 0 y 1, así se introduce el concepto de lógica difusa determinado a un valor lingüístico. Para cada conjunto o subconjunto difuso se define una función de pertenencia o inclusión $\mu_A(t)$, que indica el grado en el cual la variable t está incluida en el concepto que está representado por la etiqueta A (Ver 1) [10].

$$A = (x, \mu_A(x))/x\epsilon X A : X \Rightarrow [0, 1] \tag{1}$$

En la Figura 1 se observa la estructura de un sistema difuso, que tiene como parte vital una base de reglas difusas de entrada, donde se almacena la información del sistema. El proceso de inferencia de un sistema de este tipo, empieza por el mapeo de la entrada al sistema a un espacio U, llamado fusicicación [25], que será procesado por el motor de inferencia difuso(fuzzy inference engine) que se basa en la base de reglas para obtener un resultado final. Este resultado se encuentra dentro de un espacio V el cual es transformado, como resultado de un proceso llamado defusificación [16], a una salida discreta (número real) para poder ser interpretado [1].

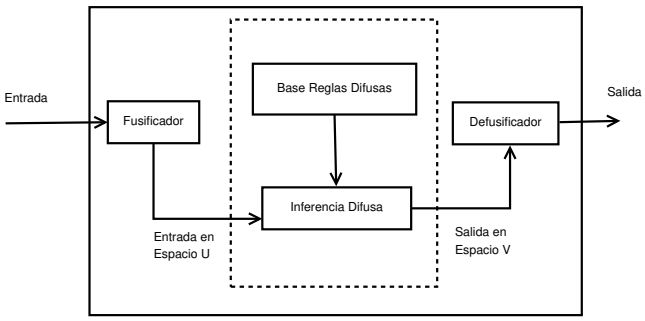


Fig. 1. Estructura de un Sistema Difuso

La lógica difusa ha sido usada en una gran cantidad de trabajos donde se intenta resolver problemas industriales diversos, que incluyen variables de trabajo con cierto grado de incertidumbre o que no están completamente definidas. Como se observa en los siguientes trabajos existen variedad de problemas que pueden ser resueltos con lógica difusa, indicando de esta manera que es una buena alternativa para este tipo de problemas.

En el campo de la industria se proponen soluciones a problemas con incertidumbre, generalmente cuando las variables a analizar no cuentan con un grado de confiabilidad mínima, o se tienen dudas acerca del tratamiento de las mismas, como es el caso de las cadenas de suministros [31], donde hay incerteza en cuanto a la evaluación de los proveedores, pues se requiere productos de bajo costo, pero de buena calidad; algo similar ocurre en procesos mecánicos, donde no sólo se trata de tomar decisiones que afecten a la parte organizativa sino también al control de maquinaria y parte operativa, ya sea detectando defectos en motores [28], ajustando niveles de caudal en tanques de agua [7] o simplemente armando un modelo de venta de sistemas fotovoltaicos [19].

En ese sentido, se demuestra la gran utilidad que tienen los sistemas difusos en la industria; pero existen problemas que no afectan a la industria pero si al comercio. La lógica difusa se ha abierto paso en muchos otras aplicaciones, podemos ver que existen sistemas especializados en modelar propuestas que beneficien a pequeños empresarios, por ejemplo en el campo de los servicios turísticos se puede ver que existen técnicas para incrementar la satisfacción de los turistas por medio de sistemas difusos [20], esto beneficiará la toma de decisiones de la gerencia al saber de manera acertada que tipo de servicios son satisfactorios para determinado grupo de turistas, de esta manera también podrá mejorar la calidad de los servicios y el costo de los mismos. En el rubro de la minería también se usan sistemas difusos, en el control de riesgos, pues no se sabe con certeza cuando puede ocurrir un percance natural o humano, para ello se diseñan modelos para predecir posibles desastres, o simplemente tomar decisiones sobre los riesgos que involucra determinada labor [29].

Algunos investigadores van más allá proponiendo nuevas técnicas y algoritmos con el fin de generar nuevos conocimientos [23], así tenemos los sistemas dinámicos donde la principal preocupación es el cambio constante del ambiente del sistema, para esto es necesario tomar decisiones que no sean estáticas, sino que varían de acuerdo a la incertidumbre generada por el cambio interno o externo de los sistemas. Por esto es conveniente contar con la lógica difusa para poder resolver este tipo de inconvenientes, pronosticando repentinos cambios, o simplemente tomando acciones correctivas que permitan sobrellevar lo acontecido [4], este también es el caso de la hidrología [21], donde es necesario predecir posibles problemas en un sistema dinámico de cuencas de ríos.

III. Funciones de Pertenencia dinámicas

Una Función de Pertenencia (FP) puede ser definida por una composición de funciones [13], [1] que podrían ser desplazadas horizontalmente, es decir a lo largo del Eje X (Ver Figura 2), obteniendo de este modo una variación en el conjunto difuso de salida. Este desplazamiento podría hacerse luego que la base de reglas sea establecida dentro del sistema difuso dándole la característica de ser dinámico en tiempo de producción (ejecución), este concepto tomaría el

nombre de Función de Pertenencia Dinámica, debido a que el desplazamiento de las mismas en tiempo de ejecución varían las salidas respectivas.

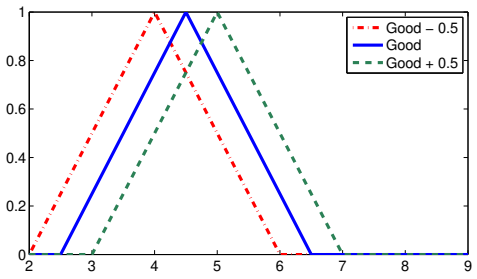


Fig. 2. Desplazamiento de función Good por -0.5 y +0.5 en el eje X

En el desarrollo del modelo se encontraron dificultades al desplazar la función de pertenencia de un valor difuso, entre ellas el solapamiento entre los conjuntos difuso vecinos, como se puede observar en la Figura 3 al desplazar en $+0.5$ unid. el Valor Difuso $Good$ da a lugar a un solapamiento sobre el Conjunto Difuso $Normal$, en caso contrario sucede al desplazar -0.5 unid. el Valor Difuso $Good$, ambos casos varían la respuesta difusa arrojada por la regla pero al mismo tiempo alteran la interpretación de la salida arrojada por el proceso de defusificación [16]. La solución al problema es modificar el umbral de decisión de acuerdo a una función de regresión lineal, obtenida luego de analizar la variación en cada grado de desplazamiento.

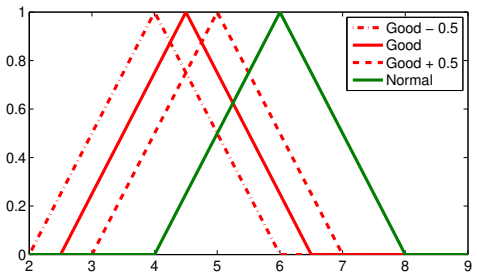


Fig. 3. Problema de solapamiento entre conjuntos difusos

A. Interpretación Matemática

La función de pertenencia en un conjunto difuso es una composición de diferentes tipos de funciones, donde se puede encontrar funciones polinomiales, lineales, exponenciales, entre otras. Para ello podemos representar una función de pertenencia como se muestra en (2), en ella se puede observar que el comportamiento del rango depende entre que intervalo del dominio se encuentra el valor de x. Dependiendo de ello se obtiene el grado de pertenencia, el cual está entre 0 y 1.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} f_1(x); & \text{Si } x \leq a \\ f_2(x); & \text{Si } a < x \leq b \\ f_3(x); & \text{Si } b < x \leq c \\ f_4(x); & \text{Si } c < x \leq d \end{cases} \tag{2}$$

Luego de realizar un proceso de desplazamiento en k unid. en (2) se nota la variación en su definición resultando (3), donde la definición de cada función se desplaza reflejando este comportamiento en su gráfica respectiva (para un mejor entendimiento ver Figura 2.

$$\mu_A(x) = \begin{cases} f_1(x+k); & \text{Si } x \leq a \\ f_2(x+k); & \text{Si } a < x \leq b \\ f_3(x+k); & \text{Si } b < x \leq c \\ f_4(x+k); & \text{Si } c < x \leq d \end{cases} \tag{3}$$

Variando la definición de una función matemática se modifica directamente su comportamiento y en consecuencia los valores de su vector difuso de salida. Luego, el desplazamiento representa una forma de alteración de una función de pertenencia representando de este modo alteraciones en los conjuntos difusos resultantes teniendo mucha relevancia en lo que a reglas difusas respecta. Las reglas difusas pueden ser representadas por matrices (Memoria Difusa Asociativa - FAM)[3], [2] que son construidas a partir del conocimiento de la persona experta en el dominio de la aplicación y poder ser consultadas posteriormente. Por ejemplo, en (4) y (5) representan las funciones de pertenencia del conjunto difuso de entrada y salida, respectivamente.

$$\mu_U(x) = \begin{cases} \frac{x}{2}; & \text{Si } 0 < x \leq 2 \\ 1; & \text{Si } 2 < x \leq 3 \\ \frac{5}{2} - \frac{x}{2}; & \text{Si } 3 < x \leq 5 \\ 0; & \text{Si } 5 < x \end{cases} \tag{4}$$

$$\mu_V(x) = \begin{cases} 1 - \frac{x}{2}; & \text{Si } 0 < x \leq 2 \\ 0; & \text{Si } 2 < x \end{cases} \tag{5}$$

Para poder construir una regla difusa usando una red FAM se necesita discretizar estas funciones de pertenencia en arreglos obteniendo de este modo vectores como se observa en la Figura 4. Posteriormente, en la Figura 4 se observa que un vector difuso de salida, representado por un arreglo de salida $Output_V$, es el resultado del producto matricial lógico [1] entre la matriz que representa a la regla y el vector de entrada $Input_U$, de la parte izquierda. De donde se puede deducir que el vector de salida depende directamente del contenido de la regla-matriz desarrollada.

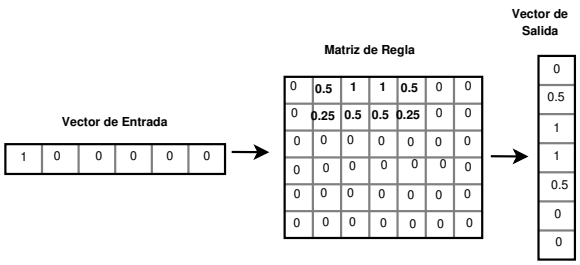


Fig. 4. Consulta a una Regla Difusa

El procedimiento para construir la regla difusa es utilizando la composición Max-Min "$\circ$". Donde el vector difuso de salida

B_V es el resultado de la composición Max-Min entre el vector de entrada A_U y M.

$$A_U \circ M = B_V \tag{6}$$

Donde $A = (a_1, ..., a_u)$ es un vector en el espacio U y $B = (b_1, ..., b_v)$ un vector en el espacio V. M es una matriz difusa UxV que almacena la regla difusa.

$$b_j = max_{1 \leq i \leq n} min(a_i, m_{i,j}) \tag{7}$$

Teniendo en cuenta lo expuesto hasta esta parte se muestra matemáticamente el comportamiento de las funciones de pertenencia dinámicas. Para ello se discretiza los comportamientos de las dos funciones de pertenencia que dan lugar a sendos conjuntos difusos que representan al "Antecedente" y "Consecuente" respectivamente, para luego encontrar la representación matricial de la regla difusa (Red FAM) que engloba a ambos (Ver Figura 5). Posteriormente se puede apreciar a los valores rojos que representan al patrón almacenado por la regla en mención.

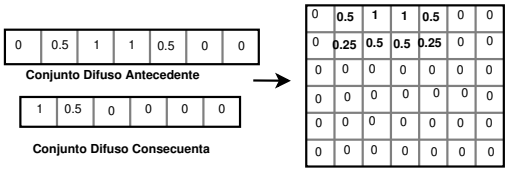


Fig. 5. Interpretación Matemática de una Regla Difusa

Posteriormente, al desplazar la función de pertenencia una unidad hacia la derecha del "antecedente", se puede apreciar (Ver Figura 6) una alteración en la ubicación de los valores rojos, lo cual influiría en el instante de hacer consultas a la respectiva regla. Demostrando la alteración de los resultados a partir del desplazamiento de funciones de pertenencia tanto del "antecedente" como del "consecuente".

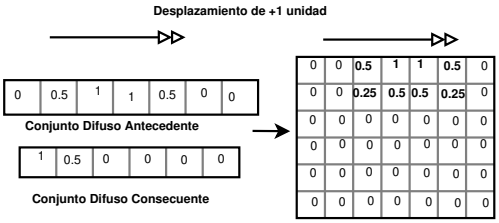


Fig. 6. Comportamiento de una Regla Difusa Desplazada

IV. Clasificación de productos agro-industriales

En la industria de alimentos, para el proceso de clasificación de los productos debe tenerse en cuenta varios factores que determinan la calidad del producto como por ejemplo el tamaño, color, estado del producto, forma, etc. Por este motivo, es que algunas propuestas hacen referencia a técnicas de visión artificial para crear un sistema de automatización que realice de manera automática la clasificación de los productos. Las propuestas de clasificación automática van desde las más sencillas, que usan redes neuronales, discriminantes lineales y K vecinos cercanos [14], [6], [27]; hasta los que usan técnicas más complejas como SVM, discriminantes bayesianos, entre otros [26], [24]. No obstante, estos trabajos clasifican a los productos individualmente sin tener en cuenta las características colectivas que puedan tener los productos, por otro lado existen clasificaciones donde si se consideran dichas cualidades colectivas para la selección de productos, a continuación se detallará las cualidades individuales y colectivas que se toman en cuenta en estos dos tipos de clasificación.

A. *Lógica Difusa en la clasificación de productos agro industriales*

Para lograr automatizar un proceso de clasificación de productos agroindustriales, se debe de considerar los siguientes 4 criterios:

Cualidades Individuales: Son las cualidades inherentes de cada producto que se toman en cuenta para su clasificación, así tenemos: forma, color, peso individual, olor, textura, entre otros. Por ejemplo, dentro de la clasificación de fresas se examina el color y tamaño logrando clasificarlas [27], [24].

Cualidades Colectivas: Son las cualidades comunes de un grupo de productos consideradas en su clasificación, así tenemos: un número de productos en una unidad de peso, tamaño promedio, peso promedio, contraste del color, formas similares, entre otros.

Clasificación en base a cualidades colectivas: Existen problemas al intentar automatizar el proceso de clasificación de productos agroindustriales en base a cualidades colectivas, debido a que se clasifican individualmente en lineas de producción separadas. El problema radica al clasificar un producto individualmente en su linea de producción respectiva, sin tomar en cuenta las cualidades colectivas del producto. Se puede resolver este problema clasificando cada producto utilizando un umbral promedio que caracterice a cada una de las `Clases` utilizadas en la clasificación, este umbral es resultado de parámetros definidos en base a criterios de experiencia por parte de las personas especializadas de la clasificación manual.

Diferencias entre proveedores y compradores: La ley de la Oferta y Demanda da a lugar a constantes disputas entre proveedores y consumidores, y el tema en discusión no es ajena al mismo. Dicho problema surge de la interpretación de los parámetros de calidad para un determinado producto, en resumidas cuentas, un proveedor X oferta sus productos al precio de uno de `Clase B` de acuerdo a los parámetros cumplidos por su producto, por otro lado un consumidor Y ofrecerá pagar por el producto del proveedor X un precio propio de uno de `Clase C` aludiendo que tal producto no cumple con los exigencias de un producto de `Clase B`. Esta disputa es generada por la interpretación subjetiva de los parámetros de clasificación, generalmente es más común en aquellos productos que cumplen apretadamente las exigencias de una determinada `Clase`.

En ese sentido, la industria que desee automatizar el proceso de clasificación debe tener en cuenta estas diferencias procurando equilibrar los beneficios para ambas partes, para evitar conflictos posteriores.

Aplicación en la agro-industria: La automatización del proceso de clasificación propuesto tendrá un módulo "P" que desplazará las funciones de pertenencia (Reglas Difusas), que se ejecutará sólo cuando el módulo "Q" lo decide. Para ello evalúa los valores acumulados de los distintos productos clasificados con anterioridad, básicamente, si existen "muchos" productos catalogados como `Clase A`, la función de pertenencia que representa al conjunto difuso de dicha clase se desplaza para así asignar una clase diferente a los futuros productos, según sean los requerimientos de las demás clases. De esta manera aseguramos la clasificación equilibrada de los productos satisfaciendo así a ambas partes (proveedores y consumidores). El proceso se puede detalla en los siguientes pasos:

- Existirá un historial de los productos clasificados para cada `Clase` de calidad, en un determinado lote de producción, una vez que un producto sea clasificado por el proceso automatizado se actualizará el historial de la `Clase` con la cual fue catalogada, estos historiales serán reiniciados en cada lote de producción que se someta al proceso de automatización. Cada uno de estos historiales son analizados con parámetros externos adicionales para determinar el desplazamiento de las `Clases` que requieran de ello.
- Los valores difusos se desplazan en parejas contiguas, es decir `Clase A` con `Clase B` o `Clase B` con `Clase A`, con la intensión de variar la decisión difusa en forma negativa o positiva, respectivamente, para ello se analiza el historial de cada `Clase` y se realiza.
- La decisión de un desplazamiento positivo o negativo depende del número de productos clasificados como `Clase A`, `Clase B` y `Clase C` (Cuyo orden está en sentido de calidad y precio, siendo la `Clase A` la de mejor calidad). Básicamente, la propuesta es si existen "Muchos" productos clasificados como `Clase B`, se evalúa el número de productos clasificados como `Clase A` y como `Clase C`, para ello se tiene en cuenta las siguientes consideraciones:
  - "Muchos" productos de `Clase A` y "Pocos" productos de `Clase C`, desplazamiento negativo.
  - "Muchos" productos de `Clase A` y "Regulares" productos de `Clase C`, desplazamiento negativo.
  - "Muchos" productos de `Clase A` y "Muchos" productos de `Clase C`, desplazamiento depende de un consenso entre proveedores y consumidores.
  - "Regulares" productos de `Clase A` y "Pocos" productos de `Clase C`, desplazamiento negativo.
  - "Regulares" productos de `Clase A` y "Regulares" productos de `Clase C`, desplazamiento depende de un consenso entre proveedores y consumidores.
  - "Regulares" productos de `Clase A` y "Muchos" productos de `Clase C`, desplazamiento positivo.
  - "Pocos" productos de `Clase A` y "Pocos" productos de `Clase C`, desplazamiento depende de un consenso entre proveedores y consumidores.
  - "Pocos" productos de `Clase A` y "Regulares" productos de `Clase C`, desplazamiento positivo.
  - "Pocos" productos de `Clase A` y "Muchos" productos de `Clase C`, desplazamiento positivo.
- El número de valores difusos "Pocos, Regulares y Muchos" depende del problema y del consenso entre consumidores y proveedores.

V. Pruebas y experimentos

La sección de pruebas y experimentos se hizo utilizando los parámetros para la clasificación de Conchas de Abanico, en la misma se tuvo en cuenta las consideraciones descritas en las secciones anteriores. Del mismo modo, se validó las pruebas con los valores extraídos de la planta de la empresa Chatsford S.A.C., ubicada en al ciudad de Pisco−Perú, que se desempeña en el rubro de industria pesquera exportando conchas de abanico y conservas de pescado.

A. Codificación de Conchas de Abanico

El proceso de clasificación o codificado de Conchas de Abanico es una tarea efectuada en un ambiente de la planta de la empresa, donde se reúnen personas que trabajan para la entidad que extrae los moluscos de un cultivo propio (Proveedor) y para la entidad que compra los moluscos para exportarlos (Consumidor). El proceso en si es realizado en base a la experiencia de las personas "Codificadoras", quienes designan a cada molusco un determinado código de acuerdo al tamaño y a los intereses de la entidad para la que trabajan (ya sea la entidad proveedora o consumidora), en el caso que sea de la entidad proveedora, tratarán que el código sea de mayor precio posible, por ejemplo, podemos tener un molusco que pese 22.7 gr., según el Cuadro I puede ser catalogado como código 20/30, en el caso que la "Codificadora" sea de la entidad consumidora, de lo contrario será catalogado 10/20. Actualmente se trata de equilibrar los intereses poniendo "Codificadoras" de ambas entidades para poder codificar de una manera equilibrada y/o balanceada. Cabe mencionar que el código de mayor precio es el 10/20 y el de menor precio, el 60/80.

Cuadro I
Códigos de exportación de moluscos Conchas de Abanico

Código	**Unidades/Libra**		**Peso**	
	Min	Max	Min	Max
10/20	–	20	22.7	More
20/30	21	30	15.1	22.6
30/40	31	40	11.4	15
40/60	41	60	7.6	11.3
60/80	61	80	5.7	7.5

Fuente: FAO

Adicionalmente, el hecho de tener parámetros de calidad en base a cualidades colectivas, genera problemas para automatizar el proceso. Como se expuso en la Sección 4, es necesario

determinar un umbral difuso para cada clase definida, de este modo se asegura que cada producto se clasifique dentro de cada `Clase` teniendo en cuenta las cualidades en colectivo.

B. Reglas Difusas

En la implementación de las reglas difusas se utilizó Redes FAM [3], [2]. Para las entradas del sistema de automatización contaremos con una interfaz entre la computadora y la balanza electrónica, y poder obtener de esta manera el peso del molusco para que nuestro sistema difuso estime el Código al cual pertenece el molusco, para ello se toma las siguientes consideraciones:

- De acuerdo al Cuadro I, podemos deducir que un código puede ser dividido en varios grupos, como ejemplo tenemos que el código 10/20 podría ser dividido en el Grupo 10,11,12 y así sucesivamente hasta 20, donde cada uno representa la cantidad de moluscos necesarios para conformar una libra.
- Cada molusco será designado a un grupo "n" de acuerdo al peso del mismo, partiendo del supuesto de que en una libra existirán "n" moluscos todos de aproximadamente $460/n$ gr. (donde 460 gr. es una libra) peso al cual se aproxima el molusco actual.
- De acuerdo a lo dicho anteriormente se puede decir que un molusco de 45.2 gr. sera catalogado al Grupo 10 debido a que se aproxima más a $460/10$ es 46 y no del Grupo 11 donde $460/11$ es 41.8 gr. Como observamos la decisión del Grupo designado a un molusco es un tanto impreciso, como ejemplo tenemos un molusco que pese 43 gr. podría ser catalogado como Grupo 10 o Grupo 11, razón por la cual se dio una solución con lógica difusa.
- Según lo dicho anteriormente se tendrían que armar Grupos del 10 al 80, resultando computacionalmente caro el cálculo difuso, para evitar esto se conformó grupos más compactos, para ello juntamos los códigos más pequeños en uno solo (Ver Cuadro II), como podemos observar en el Cuadro los grupos más grandes, debiéndose fundamentalmente a la diferencia entre los resultados de dividir un número constante entre números pequeños(10) y grandes(80), conformaron un solo Grupo como lo son el grupo 10, 11, 12, etc.

Cuadro II
VARIABLE LINGÜÍSTICA GRUPOS

Conjunto	Grupos Cubiertos	Conjunto	Grupos Cubiertos
Conjunto 1	10	Conjunto 14	24 - 25
Conjunto 2	11	Conjunto 15	26 - 27
Conjunto 3	12	Conjunto 16	28 - 29
Conjunto 4	13	Conjunto 17	30 - 32
Conjunto 5	14	Conjunto 18	33 - 35
Conjunto 6	15	Conjunto 19	36 - 39
Conjunto 7	16	Conjunto 20	40 - 43
Conjunto 8	17	Conjunto 21	44 - 48
Conjunto 9	18	Conjunto 22	49 - 54
Conjunto 10	19	Conjunto 23	55 - 62
Conjunto 11	20	Conjunto 24	63 - 72
Conjunto 12	21	Conjunto 25	73 - 80
Conjunto 13	22 - 23		

- Luego de definir el Conjunto al cual pertenecen los moluscos, se procede a calcular el Código correspondiente a cada molusco (Ver Cuadro III). Se puede observar que los Conjuntos 15, 19 y 23 son imprecisos, debido a que tienen un grado de pertenencia significativo hacia dos Códigos contiguos.

Cuadro III
VARIABLE LINGÜÍSTICA CÓDIGOS

Código	Conjunto
Código 10/20	1 - 8
Código 20/30	9 - 15
Código 30/40	15 - 19
Código 40/60	19 - 23
Código 60/80	23 - 25

- En la Figura 7 podemos observar la variable Lingüística de Códigos, conformada por los Valores Difusos 10/20, 20/30, 30/40, 40/60 y 60/80.

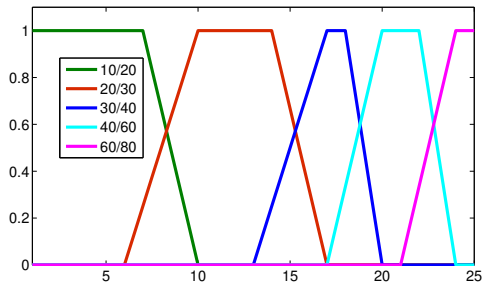


Fig. 7. Variable Lingüística Códigos

- Luego de emitir la señal de control, que deriva al molusco actual a su ruta respectiva. El sistema procede a decidir que desplazamientos realizar en base a reglas difusas (Ver Figura 8), que reciben como entrada el porcentaje del peso actual de cada clase con respecto al total estimado (ingresado a planta). El sistema difuso en mención, determina la "cantidad difusa" de moluscos de cada clase, para en base a ello definir las parejas que serán desplazadas.

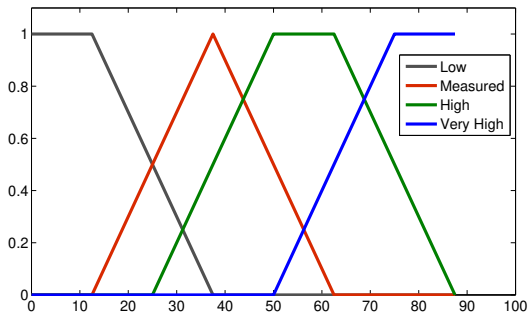


Fig. 8. Reglas difusas para decidir el desplazamiento

C. Diagrama de flujo del proceso de clasificación de conchas de abanico

Para el proceso de clasificación (codificación) de conchas de abanico se propone el diagrama de flujo de la Figura 9,

que será descrito a continuación.

- El proceso recibe de entrada el peso ingresado mediante una interfaz electrónica entre la computadora y una balanza.
- Luego de obtener el peso, se procede a fusificar [25] el valor y obtener el vector difuso de entrada que representará al peso obtenido.
- Una vez obtenido el vector difuso de entrada, se analizan los historiales de cada `Clase` y de acuerdo a las consideraciones de la Sección 4 se proceden a desplazar las reglas difusas determinadas.
- Efectuado el análisis y desplazamiento de las reglas difusas, se procede a encontrar un conjunto estimado para el molusco pesado, para ello se utiliza el motor de inferencia difuso el cual utiliza las reglas difusas de la primera capa.
- Una vez obtenido el conjunto para el molusco actual, se procede a calcular el código respectivo, para lo cual se utilizan las reglas de la segunda y última capa.
- Luego de obtener el código respectivo procedemos a clasificar el producto actual para ello el sistema defusifica el vector difuso de salida utilizando el método del centro de gravedad [16], el valor obtenido será sometido a los umbrales por cada grado de calidad y poder obtener la `Clase` para el molusco. Finalmente, se procede a actualizar el historial respectivo de la `Clase` obtenida para posteriormente emitir las señales de control para las compuertas (actuadores) que derivarán a un camino de acuerdo al código.

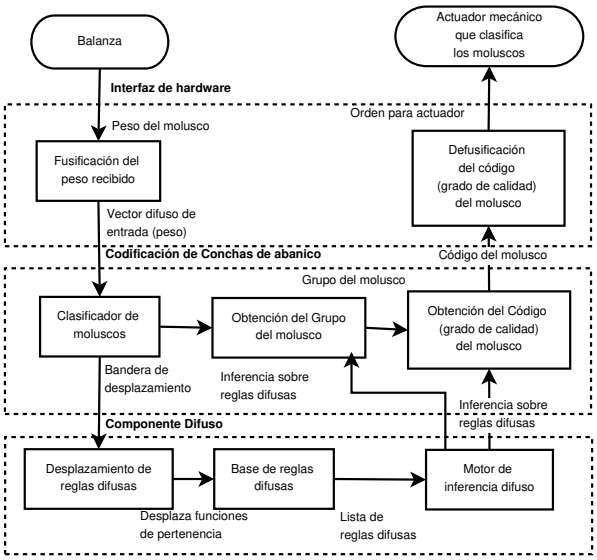


Fig. 9. Proceso de automatización y clasificación de conchas de abanico

VI. Resultados y discusiones

Los experimentos se hicieron con las siguientes consideraciones:

- Se compararon los códigos obtenidos de forma manual y los estimados por el sistema para el molusco de concha de abanico, para ello se desarrolló una matriz de confusión de los resultados arrojados por el sistema difuso.
- Se compararon los resultados arrojados por el sistema difuso con distintas parejas desplazadas con las experiencias de los trabajadores de la planta, validándose con un margen de error aceptable. Se realizo el desplazamiento tomándose en cuenta los criterios definidos con anterioridad.

El cuadro IV muestra los resultados del proceso de clasificación del presente artículo, demostrando un grado de eficiencia promedio de 91%. Las pruebas fueron realizadas con 100 moluscos de cada Código.

Cuadro IV
Matriz de Confusión del Proceso Automatizado de Codificado

	Códigos				
	10/20	**20/30**	**30/40**	**40/60**	**60/80**
10/20	95	5	0	0	0
20/30	4	87	9	0	0
30/40	0	6	91	3	0
40/60	0	0	8	90	2
60/80	0	0	0	7	93

Como se observa en el cuadro anterior, los mayores errores obtenidos están en los códigos 20/30, 30/40 y 40/60, debiéndose principalmente al solapamiento que posee con los códigos contiguos a ambos lados, en contraste se observa también que los errores menores son de los códigos extremos que cuentan únicamente con un código hacia el extremo interno.

El cuadro V muestra la comparación entre los códigos obtenidos por el proceso de clasificación del presente artículo y los resultados de códigos obtenidos manualmente. De acuerdo a los resultados obtenidos, se valida el modelo propuesto pues demuestra un grado de acierto aceptable.

Cuadro V
Cuadro de Comparación del Proceso Automatizado de Codificado

Código	**Tipo Selección**	**Código Obtenidos**				
		10/20	**20/30**	**30/40**	**40/60**	**60/80**
10/20	Manual	97	3	0	0	0
	Automatizada	95	5	0	0	0
20/30	Manual	2	93	5	0	0
	Automatizada	4	87	9	0	0
30/40	Manual	0	3	94	1	0
	Automatizada	0	6	91	3	0
40/60	Manual	0	0	3	94	3
	Automatizada	0	0	8	90	2
60/80	Manual	0	0	0	4	96
	Automatizada	0	0	0	7	93

Los resultados de la selección manual fueron obtenidos de la manera siguiente:

- Se realizó el proceso de selección a cabo de los expertos en el tema en cuestión.
- Terminado el proceso de selección, por parte de los expertos, se procedió a pesar cada molusco clasificado y de acuerdo a los parámetros del Cuadro I se asignó un código a cada uno, obteniéndose de esta manera el cuadro anterior.
- Los resultados obtenidos por parte del proceso manual se deben a que el desarrollo del mismo, las personas expertas toman en cuenta su experiencia y la agudeza

visual desarrollada. Gracias a estos factores este tipo de selección llega a tener una rapidez en la clasificación de 1 kg. de moluscos clasificados en aproximadamente 5 minutos.

Adicionalmente, en el Cuadro VI se tiene los resultados del sistema difuso luego de desplazar por parejas los conjuntos difusos contiguos. Como se puede observar los intervalos de la pareja desplazada modifica los valores obtenidos luego de ser sometidos al método del centro de gravedad [16], alterando de esta manera el producto de las decisiones del sistemas difuso.

Cuadro VI
RESULTADOS DE DESPLAZAMIENTO POR PAREJAS

Pareja Desplazada	Desplazamiento	Intervalos de Pertenencia por Código ($gr.$)				
		60/80	40/60	30/40	20/30	10/20
Ninguna	0	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46
10/20 - 20/30	0.8	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-25	25.5-46
	-0.8	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-28	28.5-46
20/30 - 30/40	0.8	6-8.5	9-13	13.5-15.5	16-26.5	27-46
	-0.8	6-8.5	9-13	13.5-18.5	19-26.5	27-46
30/40 - 40/60	0.8	6-8.5	9-12	12.5-17	17.5-26.5	27-46
	-0.8	6-8.5	9-14	14.5-17	17.5-26.5	27-46
40/60 - 60/80	0.8	6-7	7.5-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46
	-0.8	6-9.5	10-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46

VII. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

La Lógica Difusa demostró tener buenos resultados en el campo de automatización debido a su aproximación a las etiquetas (`Clases`) definidas en el problema simulando la clasificación manual dado que este último esta sujeto al pensamiento humano es cual esta definido por una inferencia cualitativa, basándose en aproximaciones más no en exactitud. Las funciones de pertenencia dinámicas ofrecen ventajas al momento de diseñar reglas sensibles a parámetros externos, debido a que se puede calibrar su comportamiento de acuerdo a las exigencias del usuario. Del mismo modo, la implementación del desplazamiento de funciones sobre Lógica Difusa tiene buenos resultados, demostrando de esta manera que puede ser aplicado a otras áreas como mecánica, control electrónico, entre otros. Adicionalmente, simula la decisión de un experto resolviendo de forma satisfactoria la alta subjetividad del problema objeto del artículo. No obstante, se abre otro rumbo de investigación sobre transformación de funciones y su trascendencia sobre las reglas difusas, quedando a criterio del lector la aplicación en diferentes problemas donde se puede desempeñar este tipo de propuesta. Se deja a criterio del lector seguir la linea de investigación ya que se puede aplicar la propuesta en el entrenamiento de reglas difusas, así como su continuo aprendizaje dado que puede modificarse su aprendizaje en tiempo de ejecución.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen las atenciones recibidas por la empresa Chatsford dueña del proyecto de: “Automatización del proceso de selección y codificación de conchas de abanico”, financiado con fondos de FINCYT y llevado a cabo por profesionales de la Cátedra CONCYTEC de la Universidad Nacional de San Agustín.

REFERENCES

[1] L. A. Zadeh, Fuzzy Sets, Information and Control - Elsevier, (1965), 8, 338 - 353, June

[2] Bart Kosko, Fuzzy Cognitive Maps, International Journal of Man-Machine Studies - Elsevier, 1986, 1, 65 - 75, January

[3] Bart Kosko, Hidden Patterns in Combined and Adaptive Knowledge Networks, International Journal of Approximate Reasoning - Elsevier, (1988), 4, 377 - 393, October

[4] T. Van Le, A fuzzy temporal logic scheme for fuzzy dynamic systems, Intelligent Information Systems, 1995. ANZIIS-95. Proceedings of the Third Australian and New Zealand Conference on, (1995), 152-157, IEEE

[5] B. R. Kosanovic and L. F. Chaparro and R. J. Sclabassi, Signal modeling with dynamic fuzzy sets, Acoustics. Speech. and Signal Processing, 1996. ICASSP-96. Conference Proceedings, 1996 IEEE International Conference on, (1996), 5, 2829 - 2832, IEEE

[6] AS Simões and AH Reali Costa and A. Hirakawa and A.M. Saraiva, Applying neural networks to automated visual fruit sorting, World Congress of Computers in Agriculture and Natural Resources-WCCA, (2001)

[7] S. Piller and M. Perrin and A. Jossen, Methods for state-of-charge determination and their applications, Journal of Power Sources, (2001), 96, 113-120, 1, Elsevier

[8] Da-Wen Sun and Tadhg Brosnan, Pizza quality evaluation using computer vision–part 1: Pizza base and sauce spread, Journal of Food Engineering, (2003), 57, 81 - 89, 1

[9] Da-Wen Sun and Tadhg Brosnan, Pizza quality evaluation using computer vision–Part 2: Pizza topping analysis, Journal of Food Engineering, (2003), 57, 91 - 95, 1

[10] Nozer D. Singpurwalla and Jane M. Booker, Membership Functions and Probability Measures of Fuzzy Sets, Journal of the American Statistical Association - Elsevier, (2004), 99, 867-877, 467, September

[11] Perfecto Marino and Vicente Pastoriza and M. Santamaria and Emilio Emilio, Fuzzy Image Processing in Quality Control Application, Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications, (2005), 55-60, IEEE Computer Society, http://portal.acm.org/citation.cfm?id=1099543.1100281

[12] J.M. Aguilera and A. Cipriano and M. Erana and I. Lillo and D. Mery and A. Soto, Computer Vision for Quality Control in Latin American Food Industry: A Case Study, ICCV 2007 - International Workshop on Computer Vision Applications for Developing countries, (2007)

[13] S. N. Mandal and J. P. Choudhury and D. De and S. R. B. Chaudhuri, Roll of Membership functions in Fuzzy Logic for Prediction of Shoot Length of Mustard Plant Based on Residual Analysis, World Academy of Science, Engineering and Technology, (2008), 38, 378-384

[14] Anderson Rocha and Daniel C. Hauagge and Jacques Wainer and Siome Goldenstein, Automatic produce classification from images using color, texture and appearance cues, XXI Brazilian Symposium on Computer Graphics and Image Processing, (2008)

[15] SUNAT, Superintendencia Nacional de Administración Tributaria, http://www.sunat.gob.pe/, (2010)

[16] P. Hoseini and A. Khoei and K. Hadidi, Circuit design of voltage mode center of gravity defuzzifier in CMOS process, Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA), (2010)

[17] X. X. Yin and W. Jia, Fuzzy Inference Systems in MR Image Processing-A Review, International conference on Bioinformatics and Biomedical Technology - IEEE, (2010), 19 - 22, April

[18] Roy Pérez-Pinto and Sonia Castelo-Quispe and Jorge Luna-Urquizo and Luis Alfaro-Casas and Dennis Barrios-Aranibar, Motor de Inferencia Difuso con Funciones de Pertenencia Dinámicas para el Codificado de Conchas de Abanico, Jornadas Peruanas de Computación - SPC, (2011)

[19] A. Mentes and I.H. Helvacioglu, Fuzzy decision support system for spread mooring system selection, Expert Systems with Applications, (2011), Elsevier

[20] B. Sohrabi and I. R. Vanani and K. Tahmasebipur and S. Fazli, An exploratory analysis of hotel selection factors: A comprehensive survey of Tehran hotels, International Journal of Hospitality Management, (2011), Elsevier

[21] D.R. Harp and V. V. Vesselinov, Analysis of hydrogeological structure uncertainty by estimation of hydrogeological acceptance probability of geostatistical models, Advances in Water Resources, (2011), Elsevier

[22] W. Ji and D. Zhao and F. Cheng and B. Xu and Y. Zhang and J. Wang, Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot, Computers & Electrical Engineering, (2011), Elsevier

[23] Y. Li and S. Tong, Adaptive Fuzzy decentralized output feedback control for stochastic nonlinear large scale systems, Neurocomputing, (2011), Elsevier
[24] Y. Nanyam and R. Choudhary and L. Gupta and J. Paliwal, A decision-fusion strategy for fruit quality inspection using hyperspectral imaging, Biosystems Engineering, (2011), Elsevier
[25] X. Yuan and H. Li and K. Sun, Fuzzy Systems and Their Approximation Capability Based on Parameter Singleton Fuzzifier Methods, 2011
[26] W. Ji and D. Zhao and F. Cheng and B. Xu and Y. Zhang and J. Wang, Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot, Computers & Electrical Engineering, (2011), Elsevier
[27] E. Guzmán and V. Baeten and J.A.F Pierna and J.A. García-Mesa, A portable Raman sensor for the rapid discrimination of olives according to fruit quality, Talanta, (2012), Elsevier
[28] O. Uyar and M. Cunkas, Fuzzy logic-based induction motor protection system, Neural Computing and Applications, (2012), 1-10, Springer
[29] E. Ghasemi and M. Ataei, Application of fuzzy logic for predicting roof fall rate in coal mines, Neural Computing & Applications, (2012), 1 - 11, Springer
[30] ISO, International Organization for Standardization - International Standards for Business, Government and Society, http://www.iso.org/, 2012
[31] D. Kumar and J. Singh and O. P. Singh, A fuzzy logic based decision support system for the evaluation of suppliers in supply chain management practices, Mathematical and Computer Modelling,(2012), Elsevier

Apéndice B

Artículo presentado en las Jornadas Peruanas de Computación (JPC). Pucallpa - Perú, 2011

Motor de Inferencia Difuso con Funciones de Pertenencia Dinámicas para el Codificado de Conchas de Abanico

Roy Pérez-Pinto[1] Sonia Castelo-Quispe[1] Jorge Luna-Urquizo [1]
Luís Alfaro-Casas[1] Dennis Barrios-Araníbar[1]

[1]Centro de Investigación y Desarrollo de Software
Cátedra Concytec en TIC´s
Universidad Nacional de San Agustín
Arequipa - Perú

royhelbert85@gmail.com, scastelo2@gmail.com,jlunaur@gmail.com

lalfarocasas@gmail.com, dennisbarrios@gmail.com

Resumen

El proceso de codificación de Conchas de Abanico posee algunas particularidades, resaltando entre ellas el alto grado de subjetividad al momento de otorgar un grado de calidad (Código), en ocasiones designando un código de menor precio a moluscos que tienen probabilidades de ser clasificados con un código de mayor precio, ocasionando pérdidas para alguna de las partes. En este trabajo, se presenta un Sistema Experto Neurodifuso, como alternativa para la codificación de Conchas de Abanico, que permita obtener el código de clasificación correspondiente al molusco, a partir de imágenes segmentadas del mismo, de acuerdo al estándar establecido por la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). Adicionalmente este sistema modifica las reglas del proceso de codificación, de acuerdo a diferentes parámetros auto-generados, con el fin de realizar una codificación balanceada del producto. Se obtuvieron resultados con una eficiencia del 95 % para el proceso de codificación de las imágenes de moluscos.

1. Introducción

Los productos alimenticios de exportación requieren de la aplicación de exigentes estándares de clasificación, los mismos que deben ser cumplidos por el exportador para poder operar dentro del mercado. En el Perú, la producción de Conchas de Abanico constituye un mercado de exportación con una tendencia creciente (SUNAT, 2010), debiendo de cumplir con estándares de clasificación de calidad relacionados a condiciones físicas (Peso) del molusco. Los procedimientos realizados para tal fin siguen siendo manuales, debido en gran medida a la falta de presupuesto por parte de las empresas para cubrir el costo de la automatización del proceso. Dicho proceso de clasificación, llámese codificación de conchas de Abanico, es aplicado de acuerdo a parámetros proporcionados por la FAO teniendo como resultado un alto grado de ambigüedad, consecuencia de una interpretación subjetiva. Teniendo esto como precedente, las técnicas basadas en visión por computador y lógica difusa para el apoyo en la realización de procedimientos de producción de alimentos, los cuales requieren supervisión visual y toma de decisiones subjetivas, se han mostrado como una fuerte tendencia, no solo reemplazando sino mejorando, en muchos procesos, el papel del hombre en la toma de decisiones (Sun and Brosnan, 2003a; Sun and Brosnan, 2003b; Mery et al., 2010a; Mery et al., 2010b; Codrea et al., 2004; Betancur and Prieto, 2008; Du and Sun, 2006; Marino et al., 2005). Debido a esto, estas técnicas fueron seleccionadas por muchas empresas del área de producción de alimentos,

debido a las ventajas que ofrecen, como puede ser la preservación del producto e higiene del proceso, debido a que, no es necesario el contacto físico con el producto, adicionalmente al bajo costo de implementación en comparación con otras tecnologías (Aguilera et al., 2007; Mery et al., 2010a; Codrea et al., 2004; Betancur and Prieto, 2008). De acuerdo a lo antes expuesto, el presente artículo presenta un Sistema Experto Neurodifuso, como alternativa para la codificación de Conchas de Abanico, el cual permite obtener el código de clasificación de los moluscos evaluados.

El resto de éste articulo está organizado de la siguiente manera. La sección 2, describe el proceso de Codificación de Conchas de Abanico para posteriormente mencionar los Trabajos Previos relacionados al tema en mención, en la sección 3. En la sección 4 se menciona algunos Conceptos Previos de las técnicas utilizadas en el presente artículo. En la sección 5 se describe el Algoritmo para estimar el código, para el molusco, a partir de la imagen analizada. En la sección 6 se describen las Pruebas realizadas para posteriormente comentar y observar los resultados de los Experimentos realizados que ayudaron a validar el Algoritmo propuesto y finalmente en la sección 7, se realizan las conclusiones del Algoritmo propuesto.

2. Codificación de Conchas de Abanico

El proceso manual de Codificado de Conchas de Abanico es una tarea realizada a "ojo de buen cubero" donde las personas "Codificadoras", basadas en su experiencia designan a cada molusco un determinado código de acuerdo al tamaño y a los intereses de la entidad para la que trabajan (ya sea la entidad proveedora o compradora), en el caso que sea de la entidad proveedora, tratarán que el código sea de mayor precio posible, por ejemplo, podemos tener un molusco que pese 22.7 gr., según el Cuadro 1 puede ser catalogado como código 20/30, en el caso que la "Codificadora" sea de la entidad compradora, de lo contrario será catalogado 10/20. Actualmente se trata de equilibrar los intereses poniendo "Codificadoras" de ambas entidades para poder codificar de una manera equilibrada y/o balanceada. Cabe mencionar que el código de mayor precio es el 10/20 y el de menor precio, el 60/80.

Cuadro 1: Códigos de exportación de moluscos Conchas de Abanico

Código	**Unidades/Libra**		**Peso**	
	Min	Max	Min	Max
10/20	–	20	22.7	Más
20/30	21	30	15.1	22.6
30/40	31	40	11.4	15
40/60	41	60	7.6	11.3
60/80	61	80	5.7	7.5

Fuente: FAO

El tiempo y costo para el proceso de codificación de conchas de abanico son variables, no obstante, estos valores se pueden aproximar de acuerdo a los parámetros del Cuadro 2. En ese sentido, se puede afirmar que el tiempo para el codificado de un molusco es de aproximadamente 0.12 segundos, tiempo superado por el proceso automatizado, tal como se muestra en la sección de Resultados. Cabe mencionar que dicho proceso es realizado de manera visual y basada en el criterio del trabajador, debido a ello, el uso de balanzas sería inadecuado ya que se estaría forzando al pesado de cada molusco por separado, resultando un proceso tedioso y en consecuencia lento. No obstante, las instituciones que busquen automatizar dicho proceso,

deberán utilizar múltiples líneas de producción, o en su defecto un procesamiento en bloque (Matricial).

Cuadro 2: Parámetros del Proceso de Codificado de CA

Parámetro	**Valor**
Trabajadoras	4-5
Precio x kg. (S/.) (Molusco Codificado)	0.15 - 0.18
Cantidad de Moluscos (kg.)	1000-1200
Tiempo Necesario(Horas)	4-5

Fuente: Elaboración Propia

3. Trabajos Previos

La aplicación de la Lógica Difusa en problemas de decisión imprecisas o subjetivas, para el control de calidad en la producción de alimentos, es una tendencia adoptada por muchas empresas de este sector, teniendo como apoyo a la visión computacional (Du and Sun, 2006). Existen trabajos previos que han utilizado la Visión por computador y la Lógica Difusa en problemas similares, por ejemplo, en la implementación de Sistemas de Inferencia Difusos junto con el procesamiento de imágenes de resonancia magnética (RM), con el objetivo de obtener la neuroanatomía del cerebro y sus relaciones espaciales, donde los conjuntos difusos se utilizaron para representar dichas relaciones (Yin and Jia, 2010).

En el caso particular del área de evaluación de calidad, en Irlanda, debido al crecimiento en la popularidad y el consumo de pizzas se vio la necesidad de un control de calidad automatizado, a fin de mantener el grado de confiabilidad y eficiencia de los resultados y en consecuencia, aumentar la producción. Por lo cual se usó la visión artificial para la inspección de la base de la pizza y la calidad de propagación de salsa de tomate. Se uso un sistema de lógica difusa, para clasificar las muestras de difusión de la salsa en las clases de calidad aceptable y deficiente (Sun and Brosnan, 2003a). Posteriormente se realizó un trabajo que evaluaba las diferentes características de calidad de los ingrediente en la pizza. Este es un buen aporte debido a que se logró utilizar la lógica difusa para realizar la clasificación de la calidad, en comparación con la evaluación de personal de calidad (Sun and Brosnan, 2003b). Otro trabajo que podemos mencionar, es el Sistema de evaluación de la calidad del recubrimiento de tapas de recipientes de metal para una fácil apertura que contienen alimento de peces. Para el desarrollo de este sistema de control automatizado, se utilizó técnicas de Visión Artificial y un modelo difuso que interpreta las variables con el fin de averiguar la causa de fallos en el proceso de calidad y con esto lograr la reducción de tiempo (Marino et al., 2005). En los procesos de inspección visual automatizada de alimentos, en la industria de Tortillas en México, es costoso e involucra errores de clasificación debido a su subjetividad y la fatiga. Por esta razón se desarrolló un marco de visión por computador para clasificar de forma automática la calidad de las tortillas de maíz de acuerdo a cinco sub-clases impartidas por un panel sensorial, utilizando 64 características necesarias para el diseño del clasificador (Mery et al., 2010b). En la industria de Pescados también se ha utilizado visión computacional para el control de calidad, esta vez para la validación de filetes de pescado, donde se utilizó imágenes de Rayos-X para los procesos de segmentación, y de esta forma poder detectar huesos dentro de los filetes, obteniéndose resultados que minimizan los errores de clasificación en el que pueden incurrir (Mery et al., 2011). Como se puede percibir las Técnicas computacionales se han aplicado cada vez más para la evaluación de ca-

lidad de los alimentos utilizando la visión por ordenador en los últimos años. Así se muestra en un estudio realizado, donde se realiza la evaluación de calidad de los diferentes alimentos utilizando la visión por ordenador, que incluyen redes neuronales artificiales, aprendizaje estadístico, la lógica difusa, algoritmos genéticos, y árboles de decisión. La mayoría de ellos son para la clasificación y la predicción, sin embargo, también hay algunas para la segmentación de imágenes y funciones de selección (Du and Sun, 2006). También en el área de la educación se utilizado la lógica difusa para realizar tests adaptativos que adecuan el test de acuerdo al nivel del alumno, para ello se diseña variables difusas de entrada como el tiempo y el desempeño, y de salida el ajuste de acuerdo a los parámetros de entrada (Rossel, 2006).

4. Conceptos Previos

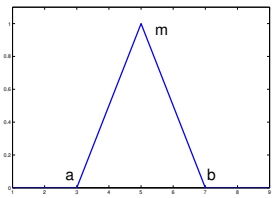
4.1. Lógica Difusa

Zadeh (Zadeh, 1965) aplico la lógica multivaluada a la teoría de conjuntos, estableciendo la posibilidad de que los elementos pudieran tener diferentes grados de pertenencia a un conjunto. Esta es una extensión de la lógica clásica diseñada para permitir razonamiento sobre conceptos imprecisos. Entre los principales conceptos tenemos:

4.1.1. Función de Pertenencia La función de pertenencia es la curva que define con que grado cada elemento esta incluido en el conjunto difuso. El valor de esta función esta en el intervalo 0 y 1, siendo 1 el valor máximo de pertenencia (Singpurwalla and Booker, 2004).

- **Tipos de Funciones de Pertenencia** Presentamos a continuación las funciones de pertenencia a utilizar (Ver Figuras 1 y 2) y sus respectivas formas de representación como composición de funciones (Ver Ecuaciones 1 y 2).

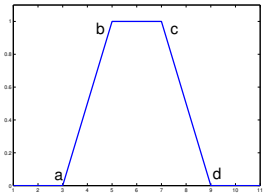
  1. Triangular



$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & a \leq x \leq m \\ \frac{b-x}{b-m} & m \leq x \leq b \\ 0 & x > b \end{cases} \tag{1}$$

Figura 1: F. Pertenencia Triangular
Fuente: Elaboración Propia

  2. Trapezoidal



$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & x \leq a \\ \frac{x-a}{m-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b \leq x \leq c \\ \frac{b-x}{b-m} & c \leq x \leq d \\ 0 & x > d \end{cases} \tag{2}$$

Figura 2: F. Pertenencia Trapezoidal
Fuente: Elaboración Propia

5. Automatización del Proceso de Codificado de Concha de Abanico (CA)

Una vez adquirida las imágenes de moluscos y previo proceso de binarización, se llevará a cabo el algoritmo 1, en donde se calcula el área de la región ocupada por el molusco, para posteriormente estimar su peso, luego de ello, el peso estimado ingresará al sistema difuso para obtener el grupo al cual pertenece y posteriormente obtener el Código. Una vez obtenido el código será guardado en un historial el cual será un parámetro de decisión para desplazar los conjuntos difusos de manera que los moluscos sean designados "equitativamente".

Algoritmo 1 Estimación de Códigos de CA

Requiere: Reglas $> 0 \wedge$ ImagenBinarizada $\neq$ nulo
Asegurar: Código Estimado
  Estimar Peso de acuerdo a Región encontrada
  si Reglas Cargadas **entonces**
    Obtener Grupo Estimado del Peso
    Obtener Código Estimado del Grupo
    si Analiza Historial de Códigos **entonces**
      Desplaza Funciones difusas
    fin si
  si no {Reglas no Cargadas}
    Mostrar Error
  fin si

A continuación se muestra el diagrama de bloques, del proceso completo:

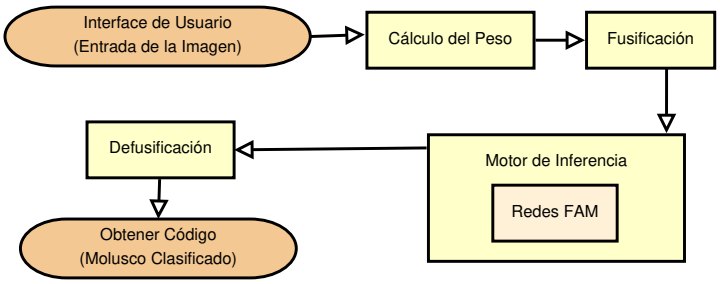


Figura 3: Diagrama de Bloques
Fuente: Elaboración Propia

5.1. Estimación del Peso a partir de la Imagen

Las imágenes de los moluscos limpios pasaron por un proceso de segmentación obteniéndose los resultados mostrados en las Figuras 4 y 5.

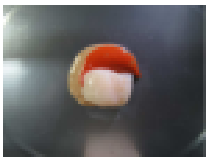


Figura 4: Imagen Original
Fuente: Elaboración Propia

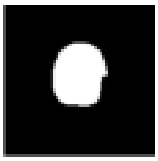


Figura 5: Fin de la Segmentación - Imagen Binarizada
Fuente: Elaboración Propia

5.1.1. Calculando el Peso de la Imagen

- Para poder obtener el peso de la imagen vamos a calcular los ejes mayor (recta de color Rojo) y menor (recta de color Azul) del molusco dentro de la imagen, como se observa en la Figura 6.
- Se ha definido un valor subjetivo, correspondiente a la proporción de un pixel en centímetros (3). Este valor nos ayudará a ponderar el tamaño real del molusco.

$$Pix_{enCm} = 0{,}06490 \tag{3}$$

Para poder aproximar la forma de los moluscos a una figura geométrica (Elipsoide) y de esta manera utilizar las fórmulas adecuadas para calcular su volumen (4), obtenemos los ejes mayores y menores del molusco, como se puede observar en la Figura 7).

$$VolumenElipsoide = \frac{4\pi}{3} * (Radio1 * Radio2^2) \tag{4}$$

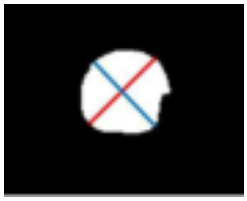


Figura 6: Ubicación de los Ejes Mayor y Menor.
Fuente: Elaboración Propia

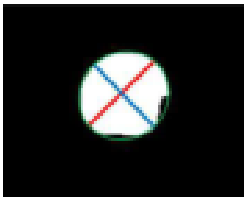


Figura 7: Ubicación del Elipsoide que cubre el molusco.
Fuente: Elaboración Propia

Finalmente calculamos el peso en gramos (6), para lo cual tomamos como densidad del molusco proporcional (5) a la densidad del agua.

$$Densidad = 1gr/cm^3 \tag{5}$$

$$Peso = densidad * VolumenElipsoide \tag{6}$$

5.2. Codificación del molusco de CA

Una vez obtenido el peso estimado, de la fase anterior, este se convierte en la entrada de nuestro sistema difuso el cual estimará el Código al cual pertenece, ello se logra teniendo en cuenta las siguientes consideraciones:

- De acuerdo al Cuadro 1, podemos deducir que un código puede ser dividido en varios grupos, como ejemplo tenemos que el código 10/20 podría ser dividido en el Grupo 10,11,12 y así sucesivamente hasta 20, donde cada uno representa la cantidad de moluscos necesarios para conformar una libra.
- Cada molusco será designado a un grupo "n" de acuerdo al peso del mismo, partiendo del supuesto de que en una libra existirán "n" moluscos todos de aproximadamente $460/n$ gr. (donde 460 gr. es una libra) peso al cual se aproxima el molusco actual.
- De acuerdo a lo dicho anteriormente se puede decir que un molusco de 45.2 gr. sera catalogado al Grupo 10 debido a que se aproxima más a $460/10$ es 46 y no del Grupo 11 donde $460/11$ es $41{,}8$ gr. Como observamos la decisión del Grupo designado a un molusco es un tanto impreciso, como ejemplo tenemos un molusco que pese 43 gr. podría ser catalogado como Grupo 10 o Grupo 11, razón por la cual se dio una solución con lógica difusa.
- Según lo dicho anteriormente se tendrían que armar Grupos del 10 al 80, resultando computacionalmente caro el cálculo difuso, para evitar esto se conformó grupos más compactos, para ello juntamos los códigos más pequeños en uno solo (Ver Cuadro 3), como podemos observar en el Cuadro los grupos más grandes, debiéndose fundamentalmente a la diferencia entre los resultados de dividir un número constante entre números pequeños(10) y grandes(80), conformaron un solo Grupo como lo son el grupo 10, 11, 12, etc.

Cuadro 3: Valores Lingüísticos de la Variable L. Grupos

Grupo	**G. Abarcados**	**Grupo**	**G. Abarcados**	**Grupo**	**G. Abarcados**
Grupo 1	10	Grupo 2	11	Grupo 3	12
Grupo 4	13	Grupo 5	14	Grupo 6	15
Grupo 7	16	Grupo 8	17	Grupo 9	18
Grupo 10	19	Grupo 11	20	Grupo 12	21
Grupo 13	22 - 23	Grupo 14	24 - 25	Grupo 15	26 - 27
Grupo 16	28 - 29	Grupo 17	30 - 32	Grupo 18	33 - 35
Grupo 19	36 - 39	Grupo 20	40 - 43	Grupo 21	44 - 48
Grupo 22	49 - 54	Grupo 23	55 - 62	Grupo 24	63 - 72
Grupo 25	73 - 80				

Fuente: Elaboración Propia

- En la Figura 8 podemos observar la Variable Lingüística de Grupos, conformada por los Conjuntos Difusos del 1 al 25.

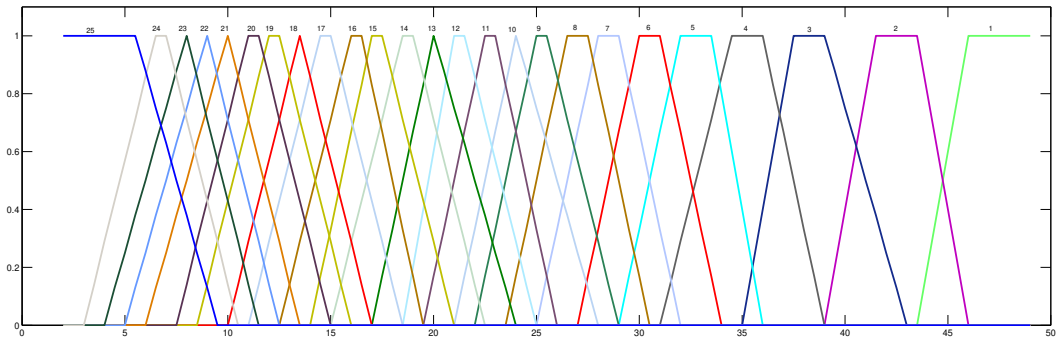


Figura 8: Variable L. Grupos
Fuente: Elaboración Propia

- Luego de definir el Grupo al cual pertenecen los moluscos, se procede a calcular el Código correspondiente a cada molusco (Ver Cuadro 4). Se puede observar que los Grupos 15, 19 y 23 son imprecisos, debido a que tienen un grado de pertenencia significativo hacia dos Códigos contiguos.

Cuadro 4: Valores Lingüísticos de la Variable L. Códigos

Código	**Grupos**
Código 10/20	1 - 8
Código 20/30	9 - 15
Código 30/40	15 - 19
Código 40/60	19 - 23
Código 60/80	23 - 25

Fuente: Elaboración Propia

- En la Figura 9 podemos observar la variable Lingüística de Códigos, conformada por los Conjuntos Difusos 10/20, 20/30, 30/40, 40/60 y 60/80.

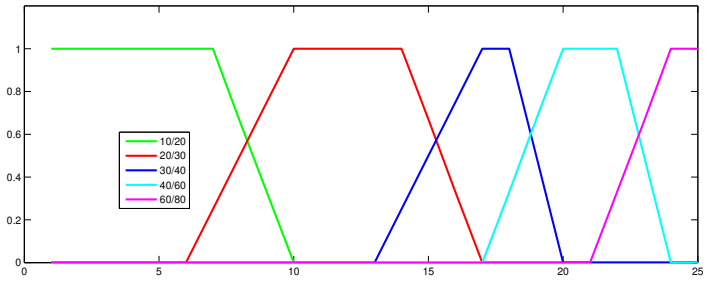


Figura 9: Variable L. Códigos
Fuente: Elaboración Propia

5.3. Desplazamiento de Funciones Difusas de Códigos de CA

5.3.1. Función de Pertenencia Dinámica como se sabe una Función de Pertenencia (FP) esta definida por una composición de funciones, las cuales pueden ser desplazadas horizontalmente (Ver Figura 10), obteniendo de este modo una variación en la respuesta difusa, a este concepto se optó por llamar Funciones de Pertenencia Dinámicas, debido a su desplazamiento en tiempo de ejecución.

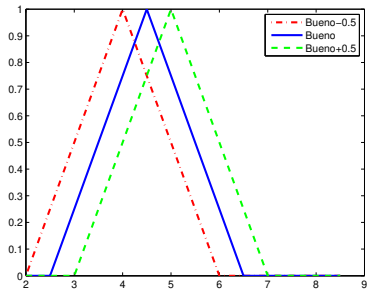


Figura 10: Desplazamiento de Funciones
Fuente: Elaboración Propia

En el desarrollo del trabajo, se encontró un problema al momento de desplazar un conjunto difuso, el cual deja un alto grado de solapamiento sobre el Conjunto Difuso $Normal$ como se puede observar en el Valor Difuso $Bueno + 0{,}5$, en caso contrario sucede con el Valor Difuso $Bueno - 0{,}5$ (Ver Figura 11), ambos casos varían la respuesta difusa arrojada por la regla, ello se solucionó modificando el umbral de decisión de acuerdo a una función de regresión lineal, obtenida luego de analizar la variación en cada grado de desplazamiento.

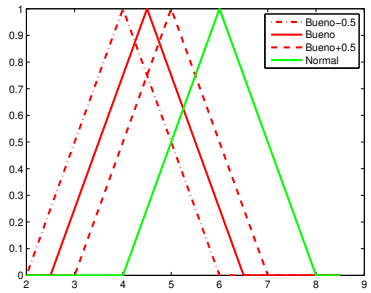


Figura 11: Decisión Errónea
Fuente: Elaboración Propia

Para solucionar el problema de "Equitatividad" utilizamos el concepto de Función de Pertenencia Dinámica, para desplazar los Grados (Funciones) de Pertenencia teniendo como decisión el análisis de los moluscos ingresados con anterioridad (Historial). Para esta fase se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los valores difusos se desplazan en parejas contiguas, es decir 10/20 con 20/30 ó 20/30 con 10/20, con la intensión de variar la decisión difusa en forma negativa o positiva, respectivamente.

- La decisión de un desplazamiento positivo, depende del número de moluscos designados como código menor (20/30) que tiene un alto grado de probabilidad de ser un código mayor (10/20).
- La decisión de un desplazamiento negativo, depende del número de moluscos designados como código mayor (10/20) que tiene un alto grado de probabilidad de ser un código menor (20/30).

6. Experimentos y Resultados

Los experimentos se hicieron con las siguientes consideraciones:

- Se compararon los pesos reales y los estimados para el molusco desvalvado de concha de abanico.
- Se desarrolló una matriz de confusión de los resultados arrojados por el sistema difuso.
- Se comparó el tiempo de respuesta del proceso manual y el arrojado por el proceso automatizado (propuesta).
- Se compararon los resultados arrojados por el sistema difuso con distintas parejas desplazadas.

En el Cuadro 5 se muestra algunas pruebas realizadas para el cálculo del peso del molusco. Se ha realizado una comparación entre el peso real del molusco y el peso obtenido a través del procesamiento de la imagen del molusco. Como se puede observar se ha obtenido buenos resultados, ya que el porcentaje de error promedio es aproximadamente $4{,}603\,\%$.

Cuadro 5: Resultados de los Pesos

Nro	**Pesos** ($gr.$)		**Error (%)**
	Peso Real	**Peso Estimado**	
1	20.6	21.992	6.76
2	31	31.37	1.19
3	21.9	22.826	4.23
4	24.3	26.726	9.98
5	25.1	24.127	3.88
6	26.9	27.493	2.20
7	11.5	12.458	8.33
8	16.1	16.43	2.05
9	9.6	9.468	1.38
10	15.8	16.753	6.03

Fuente: Elaboración Propia

El cuadro 6 muestra el rendimiento del proceso de codificado del presente artículo, demostrando un grado de eficiencia de $95\,\%$. Las pruebas fueron realizadas con 20 muestras de cada Código, como se observa el mayor error obtenido esta en los códigos altos como son 10/20, 20/30 y 30/40, debiéndose a los intervalos relativamente grandes que poseen.

Cuadro 6: Matriz de Confusión del Proceso de Codificado

	Códigos				
	10/20	**20/30**	**30/40**	**40/60**	**60/80**
10/20	19	1	0	0	0
20/30	1	17	2	0	0
30/40	0	2	18	0	0
40/60	0	0	1	19	0
60/80	0	0	0	1	19

Fuente: Elaboración Propia

El cuadro 7 muestra el promedio de los tiempos de respuesta obtenidos durante los experimentos, demostrando ser menor al tiempo de codificado manual de cada molusco, definido con anterioridad en la sección Codificación de Conchas de Abanico.

Cuadro 7: Tiempos de Respuesta del proceso de Codificado

Códigos	**Tiempo** (ms)
10/20	29
20/30	33
30/40	33
40/60	34
60/80	30

Fuente: Elaboración Propia

Adicionalmente, en el Cuadro 8 se tiene los resultados del sistema difuso luego de desplazar por parejas los conjuntos difusos contiguos. Como se puede observar los intervalos de la pareja desplazada modificaron sus valores y de esta manera se altera el producto de las decisiones difusas del sistemas experto.

Cuadro 8: Resultados de Desplazamiento por Parejas

Pareja	**Desplazamiento**	**Intervalos de Pertenencia por Código** ($gr.$)				
		60/80	**40/60**	**30/40**	**20/30**	**10/20**
Ninguna	0	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46
10/20 - 20/30	0.8	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-25	25.5-46
	-0.8	6-8.5	9-13	13.5-17	17.5-28	28.5-46
20/30 - 30/40	0.8	6-8.5	9-13	13.5-15.5	16-26.5	27-46
	-0.8	6-8.5	9-13	13.5-18.5	19-26.5	27-46
30/40 - 40/60	0.8	6-8.5	9-12	12.5-17	17.5-26.5	27-46
	-0.8	6-8.5	9-14	14.5-17	17.5-26.5	27-46
40/60 - 60/80	0.8	6-7	7.5-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46
	-0.8	6-9.5	10-13	13.5-17	17.5-26.5	27-46

Fuente: Elaboración Propia

7. Conclusiones

Las funciones de pertenencia dinámicas brinda ventajas al momento de diseñar reglas sensibles a parámetros externos, debido a que se puede adaptar su comportamiento de manera minuciosa. Adicionalmente, simula la decisión de un experto resolviendo de forma satisfactoria la alta ambigüedad del problema objeto del artículo. El peso estimado a partir de imágenes mediante algoritmos de visión computacional poseen un error relativo, gracias a la lógica difusa dicho error puede ser manejado para obtener resultados satisfactorios. El elevado grado de tasa de error obtenido para códigos con intervalos relativamente grandes será motivo de investigaciones futuras.

Referencias

Aguilera, J., Cipriano, A., Erana, M., Lillo, I., Mery, D., and Soto, A. (2007). Computer vision for quality control in latin american food industry, a case study. *ICCV 2007 - International Workshop on Computer Vision Applications for Developing countries*.

Betancur, J. and Prieto, F. (2008). Active contour-based segmentation of coffee cherries images. *Signal Processing, ICSP. IEEE 9th International Conference on*, pages 2738 – 2741.

Codrea, M. C., Tyystjarvi, O. S. N. E., Vandeven, M., and Valcke, R. (2004). Classifying apples by the means of fluorescence imaging. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 18(2):157 – 174.

Du, C.-J. and Sun, D.-W. (2006). Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Engineering*, 72(1):39 – 55.

Marino, P., Pastoriza, V., Santamaria, M., and Martinez, E. (2005). Fuzzy image processing in quality control application. *Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, pages 55–60.

Mery, D., Lillo, I., Loebel, H., Riffo, V., Soto, A., Cipriano, A., and Aguilera, J. M. (2010a). Automated fish bone detection using x-ray imaging. *2010 Fourth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology - IEEE*, pages 46 – 51.

Mery, D., Lillo, I., Loebel, H., Riffo, V., Soto, A., Cipriano, A., and Aguilera, J. M. (2010b). Quality classification of corn tortillas using computer vision. *Journal of Food Engineering*, 101(4):357 – 364.

Mery, D., Lillo, I., Loebel, H., Riffo, V., Soto, A., Cipriano, A., and Aguilera, J. M. (2011). Automated fish bone detection using x-ray imaging. *Journal of Food Engineering*, 105(3):485 – 492.

Rossel, G. (2006). Tests adaptativos utilizando lógica difusa. *XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación CACIC 2006*.

Singpurwalla, N. D. and Booker, J. M. (2004). Membership functions and probability measures of fuzzy sets. *Journal of the American Statistical Association - Elsevier*, 99(467):867–877.

Sun, D.-W. and Brosnan, T. (2003a). Pizza quality evaluation using computer vision–part 1: Pizza base and sauce spread. *Journal of Food Engineering*, 57(1):81 – 89.

Sun, D.-W. and Brosnan, T. (2003b). Pizza quality evaluation using computer vision–part 2: Pizza topping analysis. *Journal of Food Engineering*, 57(1):91 – 95.

SUNAT (2010). Superintendencia nacional de administración tributaria. http://www.sunat.gob.pe/.

Yin, X. X. and Jia, W. (2010). Fuzzy inference systems in mr image processing-a review. *International conference on Bioinformatics and Biomedical Technology - IEEE*, pages 19 – 22.

Zadeh, L. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control - Elsevier*, 8:338 – 353.

Índice alfabético

Aspectos biológicos , 21

Clasificación taxonómica, 20
Conclusiones y Trabajos Futuros, 63

Desarrollo del cultivo en el Perú, 26
Desplazamiento de funciones de pertenencia, 49
Distribución geográfica de las conchas de abanico, 24

Estructura del modelo propuesto, 50
Estudio de las Conchas de Abanico, 20

Implementación de redes FAM dinámicas, 52

Lógica Difusa, 31

Origen y su importancia en el Perú, 25

Problemas identificados, 29
Proceso de extracción y producción, 27
Pruebas y análisis, 57

Reglas Difusas, 45

Sistema Experto de Codificación de Conchas de Abanico, 45

Trabajos Previos, 43

Bibliografía

[Aguilera et al., 2007] Aguilera, J., Cipriano, A., Erana, M., Lillo, I., Mery, D., and Soto, A. (2007). Computer vision for quality control in latin american food industry, a case study. *ICCV 2007 - International Workshop on Computer Vision Applications for Developing countries*. 30, 31, 39

[Arshizadeh and Ebadzadeh, 2010] Arshizadeh, R. and Ebadzadeh, M. M. (2010). Fuzzy external force for snake. *Information Technology: New Generations (ITNG), Seventh International Conference on*, pages 376 – 381.

[Betancur and Prieto, 2008] Betancur, J. and Prieto, F. (2008). Active contour-based segmentation of coffee cherries images. *Signal Processing, ICSP. IEEE 9th International Conference on*, pages 2738 – 2741.

[BIRF, 2019] BIRF (2019). Banco mundial de datos. https://datos.bancomundial.org. 3, 4

[Castro, 2013] Castro, D. A. (2013). *EFECTO DE LA DENSIDAD DE Ulva spp (Chlorophyta) SOBRE EL CRECIMIENTO Y SUPERVIVENCIA DE LA CONCHA DE ABANICO Argopecten purpuratus EN PLAYA ATENAS, BAHÍA DE PARACAS. 2011*. PhD thesis, Facultad de Pesquería, Universidad Agraria de La Molina. 21, 22, 24, 26

[Codrea et al., 2004] Codrea, M. C., Tyystjarvi, O. S. N. E., Vandeven, M., and Valcke, R. (2004). Classifying apples by the means of fluorescence imaging. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 18(2):157 – 174.

[Concepcion et al., 2019] Concepcion, R. S., Bandala, A. A., Bedruz, R. A. R., and Dadios, E. P. (2019). Fuzzy classification approach on quality deterioration assessment of tomato puree in aerobic storage using electronic nose. In *2019 IEEE 11th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM)*, pages 1–6. 44

[Crisanto Viera, 2016] Crisanto Viera, J. L. (2016). *ANÁLISIS DE LAS MODIFICACIONES QUÍMICO PROXIMAL DE CONCHA DE ABANICO (Argopecten purpuratus) SOMETIDO A TRES MÉTODOS DE COCCIÓN*. PhD thesis, Ingeniería Pesquera, Universidad Nacional de Piura. 20, 21, 22, 23

[Du and Sun, 2006] Du, C.-J. and Sun, D.-W. (2006). Learning techniques used in computer vision for food quality evaluation: a review. *Journal of Food Engineering*, 72(1):39 – 55.

[Gentoo, 2019] Gentoo (2019). Distribución linux gentoo. https://www.gentoo.org/. 57

[Ghasemi and Ataei, 2012] Ghasemi, E. and Ataei, M. (2012). Application of fuzzy logic for predicting roof fall rate in coal mines. *Springer, Neural Computing & Applications*. 44

[Guzmán et al., 2012] Guzmán, E., Baeten, V., Pierna, J., and García-Mesa, J. (2012). A portable raman sensor for the rapid discrimination of olives according to fruit quality. *Talanta - Elsevier*.

[Harp and Vesselinov, 2011] Harp, D. and Vesselinov, V. V. (2011). Analysis of hydrogeological structure uncertainty by estimation of hydrogeological acceptance probability of geostatistical models. *Elsevier, Advances in Water Resources*. 44

[Hoseini et al., 2010] Hoseini, P., Khoei, A., and Hadidi, K. (2010). Circuit design of voltage mode center of gravity defuzzifier in cmos process. *Electronic Devices, Systems and Applications (ICEDSA)*. 55, 62

[IIED, 2019] IIED (2019). International institute for environment and development. http://www.iied.org/. 20

[IMARPE, 2016] IMARPE (2016). COMPENDIO BIOLOGICO TECNOLOGICO DE LAS PRINCIPALES ESPECIES HIDROBIOLOGICAS COMERCIALES DEL PERU. 20, 22, 24, 25, 26

[ISO, 2012] ISO (2012). International organization for standardization - international standards for business, government and society. http://www.iso.org/.

[Ji et al., 2012] Ji, W., Zhao, D., Cheng, F., Xu, B., Zhang, Y., and Wang, J. (2012). Automatic recognition vision system guided for apple harvesting robot. *Computers & Electrical Engineering - Elsevier*.

[Kass et al., 1988] Kass, M., Witkin, A., and Terzopoulos, D. (1988). Snakes: Active contour models. *International Journal of Computer Vision*, pages 321 – 331.

[Kosko, 1986] Kosko, B. (1986). Fuzzy cognitive maps. *International Journal of Man-Machine Studies - Elsevier*, pages 65 – 75. 51

[Kosko, 1988] Kosko, B. (1988). Hidden patterns in combined and adaptive knowledge networks. *International Journal of Approximate Reasoning - Elsevier*, pages 377 – 393. 37, 41, 42, 51

[Kumar et al., 2012] Kumar, D., Singh, J., and Singh, O. P. (2012). A fuzzy logic based decision support system for the evaluation ofsuppliers in supply chain management practices. *Mathematical and Computer Modelling - Elsevier*. 44

[las Exportaciones, 2008] las Exportaciones, C. d. C. d. a. A. p. e. a. a. (2008). TÉCNICAS DE CULTIVO Y REPRODUCCIÓN DEL RECURSO PESQUERO : CONCHAS DE ABANICO Argopecten purpuratus Generalidades.

[Le, 1995] Le, T. V. (1995). A fuzzy temporal logic scheme for fuzzy dynamic systems. *Intelligent Information Systems, Proceedings of the Third Australian and New Zealand Conference on. ANZIIS-95. IEEE*, pages 152–157. 44

[Li et al., 2010] Li, C., Xu, C., Gui, C., and Fox, M. D. (2010). Distance regularized level set evolution and its application to image segmentation. *IEEE Transactions on Image Processing*, 19:3243–3254.

[Li and Tong, 2011] Li, Y. and Tong, S. (2011). Adaptive fuzzy decentralized output feedback control for stochastic nonlinear large scale systems. *Neurocomputing - Elsevier*. 44

[Marino et al., 2005] Marino, P., Pastoriza, V., Santamaria, M., and Martinez, E. (2005). Fuzzy image processing in quality control application. *Proceedings of the Sixth International Conference on Computational Intelligence and Multimedia Applications*, pages 55–60.

[McKernan, 1999] McKernan, J. (1999). *Investigación-acción y currículum*. Morata, second edition.

[Mentes and Helvacioglu, 2011] Mentes, A. and Helvacioglu, I. (2011). Fuzzy decision support system for spread mooring system selection. *Elsevier, Expert Systems with Applications*. 44

[Mery et al., 2010a] Mery, D., Lillo, I., Loebel, H., Riffo, V., Soto, A., Cipriano, A., and Aguilera, J. M. (2010a). Automated fish bone detection using x-ray imaging. *2010 Fourth Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology - IEEE*, pages 46 – 51.

[Mery et al., 2010b] Mery, D., Lillo, I., Loebel, H., Riffo, V., Soto, A., Cipriano, A., and Aguilera, J. M. (2010b). Quality classification of corn tortillas using computer vision. *Journal of Food Engineering*, 101(4):357 – 364.

[Mery et al., 2011] Mery, D., Lillo, I., Loebel, H., Riffo, V., Soto, A., Cipriano, A., and Aguilera, J. M. (2011). Automated fish bone detection using x-ray imaging. *Journal of Food Engineering*, 105(3):485 – 492.

[Nanyam et al., 2011] Nanyam, Y., Choudhary, R., Gupta, L., and Paliwal, J. (2011). A decision-fusion strategy for fruit quality inspection using hyperspectral imaging. *Biosystems Engineering - Elsevier*. 43

[Pérez-Pinto et al., 2011] Pérez-Pinto, R., Castelo-Quispe, S., Luna-Urquizo, J., Alfaro-Casas, L., and Barrios-Aranibar, D. (2011). Motor de inferencia difuso con funciones de pertenencia dinámicas para el codificado de conchas de abanico. *Jornadas Peruanas de Computación - SPC*. 43, 44

[Perez-Pinto et al., 2012] Perez-Pinto, R., Portugal Zambrano, C., and Barrios Aranibar, D. (2012). Automatic classification of agro-industrial products through dynamic membership functions in fuzzy logic systems: An approach to scallops. *38th Latin America Conference on Informatics, CLEI 2012 - Conference Proceedings*, pages 1–8. 43

[Piller et al., 2001] Piller, S., Perrin, M., and Jossen, A. (2001). Methods for state-of-charge determination and their applications. *Journal of Power Sources, Elsevier*. 43, 44

[PRODUCE, 2019] PRODUCE (2019). Ministerio de la producción. https://www.gob.pe/produce. 24, 28

[Rossel, 2006] Rossel, G. (2006). Tests adaptativos utilizando lógica difusa. *XII Congreso Argentino de Ciencias de la Computación CACIC 2006*.

[Singpurwalla and Booker, 2004] Singpurwalla, N. D. and Booker, J. M. (2004). Membership functions and probability measures of fuzzy sets. *Journal of the American Statistical Association - Elsevier*, 99(467):867–877. 33, 49

[SNP, 2017] SNP (2017). Sociedad peruana de pesquería. http://www.snp.org.pe/. 26

[Sohrabi et al., 2011] Sohrabi, B., Vanani, I. R., Tahmasebipur, K., and Fazli, S. (2011). An exploratory analysis of hotel selection factors: A comprehensive survey of tehran hotels. *Elsevier, International Journal of Hospitality Management*. 44

[Soria Barreda et al., 2016] Soria Barreda, L., Almaguer Ochoa, M. R., Diaz Vera, J. C., and Arza Perez, L. (2016). Generalización del método puntos de función utilizando lógica difusa. *Revista Cubana de Ciencias Informáticas*, 10(1):110–123. 31

[Sun and Brosnan, 2003a] Sun, D.-W. and Brosnan, T. (2003a). Pizza quality evaluation using computer vision–part 1: Pizza base and sauce spread. *Journal of Food Engineering*, 57(1):81 – 89. 54

[Sun and Brosnan, 2003b] Sun, D.-W. and Brosnan, T. (2003b). Pizza quality evaluation using computer vision–part 2: Pizza topping analysis. *Journal of Food Engineering*, 57(1):91 – 95. 54

[SUNAT, 2017] SUNAT (2017). Superintendencia nacional de administración tributaria. http://www.sunat.gob.pe/. 13, 43

[Tomczyk and Szczepaniak, 2011] Tomczyk, A. and Szczepaniak, P. S. (2011). Adaptive potential active contours. *Pattern Analysis & Applications*, pages 1–16. 10.1007/s10044-011-0200-7.

[Uyar and Cunkas, 2012] Uyar, O. and Cunkas, M. (2012). Fuzzy logic-based induction motor protection system. *Neural Computing and Applications - Springer*, pages 1–10. 44

[Yin and Jia, 2010] Yin, X. X. and Jia, W. (2010). Fuzzy inference systems in mr image processing-a review. *International conference on Bioinformatics and Biomedical Technology - IEEE*, pages 19 – 22.

[Yuan et al., 2011] Yuan, X., Li, H., and Sun, K. (2011). Fuzzy systems and their approximation capability based on parameter singleton fuzzifier methods. *Tien Tzu Hsueh Pao/Acta Electronica Sinica*.

[Zadeh, 1965] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control - Elsevier*, 8:338–353. 31, 33, 35, 44, 52

[Zhu et al., 2011] Zhu, R., Yao, M., and Liu, Y.-M. (2011). A two-level strategy for segmenting center of interest from pictures. *Expert Systems with Applications: An International Journal*, 38:1748–1759.