

# ENFOQUE



<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

revista

científica

Vol.5-N°3 Septiembre 2014 ISSN:1390-6542

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA



Revista Enfoque UTE  
Volumen 5 – Número 3  
Septiembre – 2014

ISSN: 1390-6542

Copyright © 2014

Facultad de Ciencias de la Ingeniería  
Universidad Tecnológica Equinoccial

<http://ingenieria.ute.edu.ec/enfoqueute/>

Teléfono: +593-(2)-2990-800 ext.2232

Dirección: Av. Mariscal Sucre (Occidental) y Mariana de Jesús,  
Quito-Ecuador.

# Comité Editorial

---

## Director Editorial

Jorge Viteri Moya

## Coordinador Editorial

Diego Ordóñez Camacho

## Comité Editorial

María José Andrade

Anita Argüello

Vladimir Bonilla

Juan Bravo

Analía Concellón

Manuel Coronel

Albert Ibarz

María Belén Jácome

Alberto Medina

Daniel Mideros

Carlota Moreno

Roger Peñaherrera

Galo Ramos

Neus Sanjuan

Gabriela Vernaza

Fabián Villavicencio

# Contenido

---

**Diversidad microbiana asociada a la chicha de arroz: bebida tradicional de Bolívar-Ecuador .....pp. 1 - 14**

Diana Pazmiño, Micaela Escudero y Nubia Grijalva

**Fritura al vacío: un enfoque nutricional ..... pp. 15 - 24**

Manuel Coronel

**Influencia de las ráfagas de viento en la calidad de la energía de los parques eólicos ..... pp. 25 - 44**

Gonzalo Guerrón, Edwin García y Andrés Montero

**Comparación de algoritmos de máquinas de aprendizaje para detectar arrecife de coral ..... pp. 45 - 56**

Eduardo Tusa, Alan Reynolds, Neil Robertson, David Lane, Hyxia Villegas y Antonio Bosnjak

## Prefacio

---

El presente número, tercero del quinto volumen de Enfoque UTE, consta de cuatro artículos técnico-científicos.

El primero realiza un análisis microbiano de una de las bebidas más tradicionales del Ecuador: la chicha.

El segundo artículo también sigue la línea de la Ingeniería de Alimentos, y presenta un estudio de diferentes técnicas de fritura al vacío, analizando sus implicaciones nutricionales.

A continuación se presenta un artículo de revisión que detalla los efectos de distintos tipo de ráfagas de viento en la generación de energía eólica.

Finalmente, el cuarto artículo, analiza y compara distintos modelos de aprendizaje automático, aplicados a la detección de arrecifes de coral por parte de vehículos autónomos submarinos.

Este Comité agradece a todos los colaboradores su constante apoyo y trabajo desinteresado.

**Comité Editorial**

Quito, septiembre 2014

## **Diversidad microbiana asociada a la chicha de arroz: una bebida tradicional de Bolívar - Ecuador**

### ***(Microbial diversity associated to “rice chicha”: a traditional beverage in Bolivar – Ecuador)***

Diana Pazmiño, Micaela Escudero, Nubia Grijalva<sup>1</sup>

#### **Resumen:**

La provincia de Bolívar se encuentra ubicada en el centro-occidente del Ecuador. Las principales bebidas tradicionales que allí se producen son los aguardientes y las chichas; entre ellas sobresale la chicha de arroz. En una primera etapa, se evaluaron muestras de chicha de arroz (en los puntos de venta) de diferentes productores de la provincia; se realizaron recuentos microbiológicos y análisis físico-químicos. En la segunda etapa, se aislaron e identificaron enterobacterias, bacterias ácido lácticas, mohos y levaduras, en tres fases del proceso de elaboración (inicial, fermentativo y final). Para todos los microorganismos se realizaron descripciones macroscópicas y microscópicas. La identificación de enterobacterias y bacterias ácido lácticas se realizó mediante pruebas bioquímicas, para los mohos se realizó una identificación microscópica mediante tinción con azul de lactofenol y para las levaduras se usó el kit API 20 C AUX. En relación a los recuentos se obtuvieron en promedio valores de 2.7 y 2.5 log UFC/ml de coliformes totales y enterobacterias respectivamente, 1.8 log UFC/ml de bacterias ácido lácticas y 2.5 log UFC/ml de Mohos y levaduras. Se identificaron en las tres fases: 13 cepas de enterobacterias, 9 cepas de bacterias ácido lácticas, 15 cepas de mohos y 6 cepas de levaduras.

**Palabras clave:** bebidas tradicionales, chicha, fases, microorganismos

#### **Abstract:**

The province of Bolivar is located in the central-west region of Ecuador. The main beverages produced are spirits and chichas; among them “rice chicha”. In a first stage, samples of rice chicha (at points of sale) from different producers of this province were evaluated; microbial counts and physicochemical analyzes were performed. In the second stage, the most representative enterobacteria, lactic acid bacteria, yeasts and molds were isolated from “rice chicha” during three phases of the elaboration process: initial, fermentative and final. For all microorganisms, macroscopic and microscopic descriptions were performed. The identification of enterobacteria and lactic acid bacteria was carried out with biochemical tests, for mold a microscopic identification was applied by staining with lactophenol blue solution and for yeast the APIC AUX 20 kit was used. Count values in average were 2.7 and 2.5 log CFU / ml of total coliforms and enterobacteria, 1.8 log CFU / ml of lactic acid bacteria and 2.5 log CFU / ml for yeasts and molds. During the three fermentation phases the most representative species were partially identified: 13 strains of Enterobacteriaceae, 9 strains of lactic acid bacteria, 15 strains of mold and 6 strains of yeast.

**Keywords:** traditional beverage, chicha, stages, microorganisms

---

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (gvnj87974@ute.edu.ec)

## 1. Introducción

La producción de arroz en el Ecuador tiene sus inicios en el siglo XVIII, pero se fortaleció su consumo y comercialización en el siglo XIX. Este cultivo se desarrolló en un principio en las provincias del Guayas, Manabí, y Esmeraldas, y con el tiempo logró extenderse y comercializarse en la región Sierra. El arroz es el cultivo más extenso del Ecuador; ocupa más de la tercera parte de la superficie de productos transitorios del país. En el año 2009 la producción de este cereal en el país alcanzó 1'579406 toneladas anuales (INEC, 2009).

El Ecuador es un país con una gran diversidad cultural y étnica, lo que implica costumbres y tradiciones diversas, las mismas que han sido transmitidas de generación en generación. Una de ellas es la elaboración de la bebida ancestral considerada sagrada desde tiempos pasados denominada "chicha", bebida fermentada no destilada elaborada a base de cereales originarios de América (Aguirre, 2009). Las chichas en el Ecuador son elaboradas a partir de distintos sustratos como el maíz, arroz, quinua, avena, harina de jora, yuca, entre otros, acompañadas de frutas de la zona como naranjilla, piña, mora, tomate de árbol, taxo, entre otras; se las endulza con azúcar, jugo de caña o panela y se las deja fermentar en ponedos de barro o recipientes de plástico de 3 hasta 20 días, dependiendo del grado de concentración alcohólica que se desee (Bayas, Jines, Salazar, & Del Pozo, sf; Ministerio de Turismo del Ecuador, 2012).

La preparación de esta bebida representa un gran componente cultural principalmente a nivel de las comunidades indígenas sobretodo en sus fiestas y celebraciones. Además, su aceptación ha aumentado notablemente en la población mestiza, se consume con frecuencia en la Serranía y Amazonía, sin embargo también se lo hace en menor cantidad en la Costa. En la provincia de Bolívar, la "chicha" es la bebida oficial del Carnaval (fiesta mayor de la provincia), en esta fecha las familias bolivarenses preparan esta bebida con los mejores ingredientes en un "pondo de barro" y es ofrecida a los turistas (Rosas, 2012; López, Ramírez, Mambuscay, & Osorio, 2010).

La "Chicha de Arroz" es una bebida de sabor dulce y suave, considerada como una bebida histórica que puede constituirse desde refresco hasta una especie de vino embriagante (Proaño, 2009). Es una bebida ancestral elaborada con su principal ingrediente, el arroz. Su preparación presenta varias modificaciones de acuerdo a la zona, pero fundamentalmente consiste en moler el grano, remojarlo, cocinarlo, añadir agua y endulzarlo, también se añade especias como: canela, clavo de olor, congona (planta de jardín), hierba luisa; además de eso se suele adicionar frutas como la piña, naranjilla o guayaba para posteriormente filtrar la mezcla; se sirve fresca o fermentada (Ramírez, Rosas, Velázquez, Ulloa, & Arce, 2011; Proaño, 2009). Esta bebida es elaborada de forma tradicional, con la aplicación de recetas que han sido modificadas con el pasar del tiempo. La etapa de fermentación tarda de 4 a 15 días, según los ingredientes usados (López, Ramírez, Mambuscay, & Osorio, 2010).

Los sustratos que atraviesan por un proceso de fermentación espontáneo (sin adición de un inóculo específico), representan hábitats de gran importancia para el estudio de microorganismos nativos (López, Ramírez, Mambuscay, & Osorio, 2010). En las bebidas fermentadas la microbiología es muy variada, debido a la naturaleza del sustrato, los agentes selectivos existentes en el medio, el pH bajo y la gran concentración de CO<sub>2</sub>. Generalmente, en este tipo de bebidas se han detectado una mezcla de microorganismos responsables de la fermentación e indicadores de la calidad microbiológica como bacterias, mohos y levaduras (Decheco, 2009; Fula, 2010).

Los consorcios microbianos (asociaciones naturales de dos o más poblaciones microbianas) que son frecuentemente encontrados en varias bebidas fermentadas dan lugar a interacciones positivas que favorecen a todas las poblaciones presentes en relación a la captación de nutrientes, eliminación de ciertos metabolitos que llegan a ser tóxicos si se acumulan en la bebida y control de la flora microbiana alterante de la fermentación (Cervantes & Pedroza, 2007).

Es importante conocer la microbiología presente en estas bebidas debido a que son el producto de la actividad de varios grupos de microorganismos. La presencia de microorganismos indicadores como enterobacterias y coliformes totales podría señalar una contaminación en materias primas, equipos y utensilios sucios o manejo no higiénico, el desarrollo de microorganismos denominados fermentadores (bacterias ácido lácticas, mohos y levaduras), los cuales se encuentran de forma natural y son los responsables de que se produzca la fermentación, además de que le otorgan a las bebidas nuevas características físico-químicas y sensoriales particulares o propias (Comisión Internacional de Especificaciones Microbiológicas para Alimentos, 2000; Gamazo, López, & Díaz, 2009).

La escasa información disponible sobre bebidas fermentadas tradicionales que se producen y comercializan en la provincia de Bolívar fue la razón más importante por la cual se llevó a cabo esta investigación. Fue necesario realizar estudios para determinar la calidad de las bebidas fermentadas tradicionales más representativas de esta provincia en base a parámetros físico-químicos y microbiológicos para conocer el estado en el que se producen y comercializan, con la finalidad de determinar qué tan aptas son para el consumo en relación al cumplimiento de normas o en comparación con estudios similares. Además el identificar la diversidad microbiana presente en la chicha de arroz de la Provincia de Bolívar. Los objetivos específicos fueron: obtener muestras de chichas de arroz de la Provincia Bolívar, realizar análisis microbiológicos a la muestras y determinar qué tipos de microorganismos (enterobacterias, bacterias ácido lácticas, mohos y levaduras) se encuentran presentes en la chicha de arroz.

## 2. Metodología

### 2.1. Material

Se analizaron muestras de chicha de arroz de la provincia Bolívar de dos productores diferentes, de tres lotes de producción. Para la evaluación de la calidad microbiológica de la bebida las muestras fueron tomadas en la etapa de elaboración en botellas de vidrio herméticas previamente etiquetadas y esterilizadas; fueron transportadas en condiciones de refrigeración.

Para el aislamiento e identificación de los microorganismos las muestras fueron tomadas una vez elaboradas las bebidas en botellas de vidrio herméticas previamente etiquetadas y esterilizadas, se dejaron fermentar espontáneamente durante 15 días a temperatura ambiente.

### 2.2. Recuentos microbiológicos

Se realizaron diluciones sucesivas según la norma técnica ecuatoriana INEN 1529-2 (1999). Para la inoculación de las placas se utilizaron 3 diluciones sucesivas por cada muestra, se aplicó la técnica de siembra por profundidad. Se colocó 1ml de cada dilución en las placas y se añadió 20ml del medio de cultivo fundido y atemperado a 45-50°C. Las especificaciones de medios y condiciones de siembra se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Medios de cultivo selectivos usados para el recuento y aislamiento de cepas.

Microorganismo	Medio de cultivo	Condiciones de incubación
Enterobacterias	Agar MacConkey	35°C; 18 a 24 horas.
Coliformes	Agar VRB	35°C; 18 a 24 horas.
Mohos y Levaduras	Agar PDA + 40 ppm de gentamicina	25°C; 3 – 5 días
Aerobios mesófilos	Agar PCA	35°C; 18 a 24 horas
Bacterias ácido lácticas	Agar MRS	Cámara de anaerobiosis; 37°C; 24 a 48 horas.

Se utilizó esta misma técnica en cada una de las tres fases del proceso de elaboración (inicial, fermentativo y final) para realizar un recuento aproximado de las poblaciones y aislar cepas de acuerdo a características macroscópicas y microscópicas

### 2.3. Análisis físico – químicos

Las muestras fueron llevadas bajo condiciones de refrigeración al laboratorio. Se realizaron los siguientes análisis: grado alcohólico, metanol, ésteres, aldehídos, peso específico, extracto seco, acidez total y fija. Se siguió la normativa establecida por las normas INEN (340, 347, 342, 343, 346, 341).

## 2.4. Aislamiento e identificación

Los aislamientos fueron realizados con la técnica por estría hasta obtener cultivos puros, tomando en cuenta criterios morfológicos y fenotípicos de los microorganismos de interés; en el caso de los mohos se aplicó la técnica de depósito.

Se realizó tinción Gram a los microorganismos, para poder determinar si los microorganismos eran Gram positivos ó Gram negativos, a excepción de los mohos.

La identificación de enterobacterias y bacterias ácido lácticas se realizó por medio de pruebas bioquímicas; para las enterobacterias se realizó 11 tipos de pruebas, entre estas: uso de carbohidratos, producción de indol, formación de ácidos, uso del citrato, producción de sulfuro, movilidad, catalasa, hidrólisis de la urea, producción de lisina descarboxilasa, resistencia a la sal y uso de manitol; para las bacterias ácido lácticas se realizó 6 tipos de pruebas, entre estas: catalasa, aerobiosis, anaerobiosis, producción de indol, producción de sulfuro, movilidad; una vez obtenidos los resultados fueron comparados con el Bergey's Manual of Determinative Bacteriology (Holt , Krieg, Sneath , Staley, & Williams, 1994). En el caso de los mohos se aplicó la técnica de visualización por tinción con azul de lactofenol, una vez obtenidos los resultados se comparó con el Manual Introduction to Food-Borne Fungi (Samson , Hoekstra, Frisvad, & Filtenborg, 1995) . Las levaduras fueron identificadas con el uso del kit de identificación API 20 C AUX (BIOMERIUX, 2010)

## 3. Resultados y Discusión

### 3.1. Calidad microbiológica de las bebidas

No se obtuvieron diferencias significativas entre productores para la mayoría de los indicadores microbianos evaluados a excepción de las bacterias ácido-lácticas, esto podría atribuirse a tiempos distintos de fermentación. Los valores promedios obtenidos se presentan en la tabla 2.

En cuanto a los microorganismos fermentadores en el estudio del perfil microbiológico de la chicha de arroz de Venezuela, realizado por Arroyo, Bencomo, & Bianco (2011) reportaron como valor máximo permitido 3 log UFC/ml de mohos y levaduras. Para bacterias ácido lácticas Gassem (2002), reportó en un estudio realizado en una bebida de trigo y malta denominada Sobia, originaria de Arabia Saudita, valores de 4.10 a 8.19 log UFC/ml. La chicha de arroz evaluada en este estudio posee recuentos bajos de microorganismos fermentadores lo cual podría atribuirse al periodo corto de fermentación (3-5 días).

En relación a los microorganismos indicadores, en un estudio acerca de la contaminación enterobacteriana del guarapo de uva realizado por Cartagena, Centellas, Torrico, Saavedra, & Sejas, (2009), se discute que los valores de recuento son elevados si sobrepasan las 2.70 log UFC/ml relacionadas directamente con patologías generalmente gastrointestinales. Para

coliformes totales en el estudio microbiológico realizado por Gassem (2002) se obtuvieron valores entre 0,67 y 3,84 log UFC/ml. De acuerdo a estos parámetros se deduce que la chicha de arroz presenta recuentos cercanos al límite permitido, comparados con los obtenidos en otros estudios en cuanto a microorganismos indicadores.

**Tabla 2.** Recuentos microbianos obtenidos en chichas de arroz en condiciones de expendio (2 productores distintos, 3 lotes de producción)

Microorganismo	Productor 1	Productor 2
	Log UFC/ml <sup>1</sup>	
Mohos y levaduras	2.36 ± 0.52	2.60 ± 0.48
	Tukey <sub>productor</sub> = 0.644	
Coliformes	2.41 ± 0.42	2.55 ± 0.53
	Tukey <sub>productor</sub> = 0.610	
Enterobacterias	2.27 ± 0.43	2.59 ± 0.50
	Tukey <sub>productor</sub> = 0.602	
Ácido lácticas	1.32 ± 0.32	1.84 ± 0.3
	Tukey <sub>productor</sub> = 0.402	
Aerobios mesófilos	2.57 ± 0.54	3.08 ± 0.38
	Tukey <sub>productor</sub> = 0.602	

<sup>1</sup> media ± desviación estándar (n=3)

Letras minúsculas diferentes indican diferencias significativas entre productores para un mismo lote. (P<0.05)

### 3.2. Caracterización físico-química

La bebida analizada tuvo en promedio 0.24<sup>o</sup> GL de alcohol lo que indica un tiempo de fermentación corto. El pH promedio fue de 4.02 y la acidez total fue de 33700 mg de ácido acético / 100 ml de alcohol anhidro; el aumento de la acidez podría atribuirse a las actividades de las bacterias ácido lácticas que descomponen los azúcares para transformarlos en ácido láctico.

El contenido de aldehídos fue de 71.29 mg de etanal/ 100 ml alcohol anhidro y de ésteres fue de 1447.8 mg acetato de etilo/100ml alcohol anhidro. Estela et al., (2011) manifiestan que los ésteres representan el mayor grupo de componentes aromáticos, por lo que un alto contenido podría contribuir a las características organolépticas del producto. No se detectaron niveles de metanol en ninguna de las muestras evaluadas.

### 3.3. Identificación de microorganismos en chicha de arroz

Los microorganismos aislados en la chicha de arroz representaron un consorcio de enterobacterias, bacterias ácido lácticas (Tabla 3), mohos y levaduras (Tabla 4). Los valores de los recuentos fueron diferentes en las tres fases del proceso de elaboración. Según Sanchez et al., (2010), en una bebida fermentada se recrea un ecosistema con una amplia diversidad microbiana, las relaciones entre los microorganismos desarrollados en ella y su metabolismo

ejercen una influencia en las propiedades organolépticas de la bebida, así como en su duración y mejoramiento de su calidad nutritiva.

**Tabla 3.** Identificación inicial de bacterias en chicha de arroz de acuerdo a: características macroscópicas, microscópicas y fisiológicas.

Tipo	Especies identificadas	Etapas de aislamiento
Enterobacterias	<i>Providencia stuartii</i>	1
	<i>Edwardsiella hoshinae</i>	1, 3
	<i>Buttiauxella agrestis</i>	1, 3
	<i>Obesum bacterium proteus</i>	1
	<i>Escherichia coli</i>	1
	<i>Serratia fonticola</i>	1
	<i>Proteus penneri</i>	1
	<i>Yersinia rohdei</i>	1
	<i>Yokonella s.p.</i>	1
	<i>Erwinia persicinus</i>	1
	<i>Klebsiella oxytoca</i>	1
	<i>Enterobacter aerogenes</i>	1
	<i>Yersinia aldovae</i>	1
Ácido lácticas	<i>Bacillus</i> (2)	2, 3
	<i>Lactobacillus</i> (5)	2, 3
	<i>Sporolactobacillus</i> (2)	1, 2

Las muestras de chicha de arroz indicaron altos contenidos de enterobacterias en la etapa inicial del proceso fermentativo, mientras que no se encontró la presencia de ellas en la etapa fermentativa; según Jiménez, González, Magaña, & Corona (2010), las bacterias patógenas reaccionan de maneras diferentes ante la presencia de bacterias ácido lácticas, lo que hace difícil que dichos microorganismos puedan sobrevivir, haciendo a los alimentos fermentados más seguros para su consumo. En la etapa final se detectó una pequeña cantidad de enterobacterias posiblemente por una recolonización por condiciones ambientales.

La cantidad de bacterias ácido lácticas encontradas fue considerable en las 3 etapas fermentativas notándose una pequeña diferencia en la segunda etapa del proceso en donde el recuento fue mayor; en una investigación realizada por Giles et al., (2001) con Pulque, bebida de origen mexicano, se reportaron recuentos superiores 8,50 log UFC/ml de bacterias ácido lácticas en la etapa de fermentación, y en la etapa de finalización del proceso fermentativo se encontró 8,17 log UFC/ml. En el trabajo realizado por Sánchez et al. (2010), el Axokot una bebida fermentada tradicional de origen mexicano presentó 2,91 log UFC/ml de bacterias ácido lácticas en la etapa de fermentación, lo que indica que la cantidad de bacterias ácido lácticas depende de la etapa de fermentación que atravieza el sustrato, las condiciones de fermentación, además de los ingredientes y los utensilios utilizados en la elaboración.

**Tabla 4.** Identificación inicial de hongos en chicha de arroz de acuerdo a: características macroscópicas, microscópicas y fisiológicas.

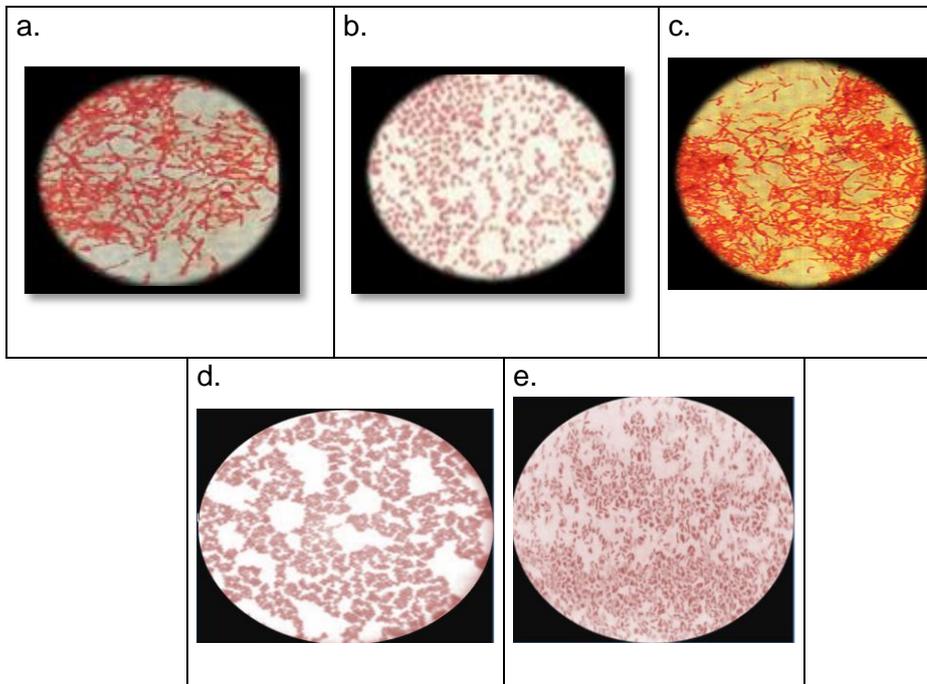
Tipo	Especies identificadas	Etapas de aislamiento
Mohos	<i>Absidia corymbifera</i>	1
	<i>Aspergillus penicillioides</i>	1
	<i>Penicillium funiculosum</i>	1
	<i>Emericella nidulans</i>	2
	<i>Aspergillus flavus</i>	2
	<i>Fusarium semitectum</i>	2
	<i>Penicillium glabrum</i>	1, 2
	<i>Penicillium brevicompactum</i>	2, 3
	<i>Penicillium italicum</i>	2
	<i>Fusarium solani</i>	2
	<i>Penicillium funiculosum</i>	2
	<i>Aspergillus versicolor</i>	2
	<i>Aspergillus flavus</i>	1
	<i>Emericella nidulans</i>	1
	<i>Aspergillus ustus</i>	3
Levaduras	<i>Rhodotorula mucilaginosa</i>	1, 2, 3
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	1, 2
	<i>Candida guilliermondii</i>	1
	<i>Candida sphaerica</i>	2
	<i>Trichosporon mucoides</i>	3
	<i>Candida utilis</i>	3

En relación a la cantidad de mohos presentes en las muestras de chicha; en la etapa 1 y 2 del proceso fermentativo no variaron considerablemente dichos valores, sin embargo en la tercera etapa del proceso no se encontraron niveles detectables de los mismos. Los resultados de la presente investigación representan cantidades elevadas comparadas con el estudio microbiológico realizado en chicha de arroz de venta ambulante en Venezuela donde se reportó un total de 2,93 log UFC/ml (Arroyo, Bencomo & Bianco, 2011).

Los recuentos en relación a las levaduras durante las 3 etapas no difirió en forma considerable entre etapas, son cantidades elevadas comparadas con el estudio microbiológico realizado en chicha de arroz de venta ambulante en Venezuela donde se reportó un total de 3,16 log UFC/ml (Arroyo, Bencomo & Bianco, 2011); así como también la cantidad reportada casi no difiere en forma notable de acuerdo a un estudio microbiológico realizado con pulque ya que se reportó un valor de 5,78 log UFC/ml (Cervantes & Pedroza, 2007).

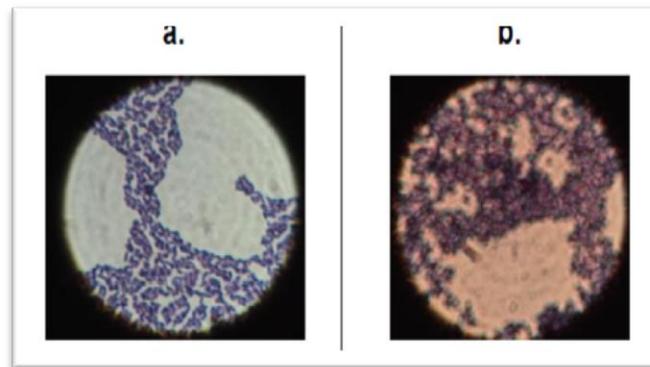
La mayor parte de enterobacterias encontradas, fueron de los géneros: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Klebsiella* y *Proteus*, *Erwinia*, (Figura 1) las mismos que pueden desarrollarse en hábitats diversos como suelo, aguas residuales, agua de río, agua natural, agua contaminada, heces fecales, en

ocasiones pueden encontrarse en la piel y en la mucosa de las personas o estar presente en algunos tipos de alimentos como frutas, vegetales y alimentos fermentados; lo que sugiere que dicha contaminación podría deberse a errores en la higiene y manipulación de los ingredientes durante la elaboración (Holt , Krieg, Sneath , Staley, & Williams, 1994; Dworkin, Falkow, Rosenberg, Schleifer, & Stackebrandt, 2006; Grimont & Grimont, 2006; Bagley, 1985;; Noriha, Hamidun, & Indu, 2011).



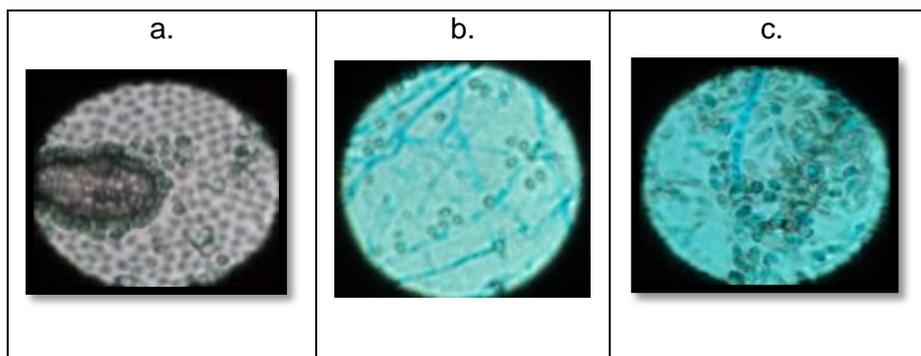
**Figura 1.** Cepas representativas de enterobacterias.  
**a.** *Escherichia*; **b.** *Erwinia*; **c.** *Klebsiella*; **d.** *Proteus*; **e.** *Enterobacter*.

Se obtuvieron 9 cepas distintas de bacterias ácido lácticas, pertenecientes a los géneros: *Lactobacillus*, *Sporolactobacillus* y *Bacillus* (Figura 2). *Sporolactobacillus* es un tipo de bacteria ácido láctica que tiene como hábitat productos fermentados y salmueras; se ha comprobado que también se desarrollan en las heces de los animales herbívoros, aguas residuales, por lo que indica su posible asociación con alimentos. La presencia de estas bacterias podría atribuirse a la falta de precaución en la elaboración de la bebida (Sanders, Morelli, & Tompkins, 2003; Stainer, Ingraham, Wheelis, & Painter, 2005; García, Arrázola, & Durango, 2010). *Bacillus* es considerada una bacteria ubicua por su distribución, comúnmente se encuentra en el suelo, agua, polvo y aire; en los alimentos como harinas, cereales, frutas, vegetales; en ocasiones puede desempeñar un papel en el deterioro de los alimentos; además tiene un gran uso en la industria alimenticia, en especial en los lácteos; lo que sugiere que esta especie podría deberse a los ingredientes utilizados y al proceso de fermentación que cruza (Sanders, Morelli, & Tompkins, 2003; Stainer, Ingraham, Wheelis, & Painter, 2005).



**Figura 2.** Cepas representativas de bacterias ácido lácticas.  
**a.** *Bacillus*; **b.** *Sporolactobacillus*

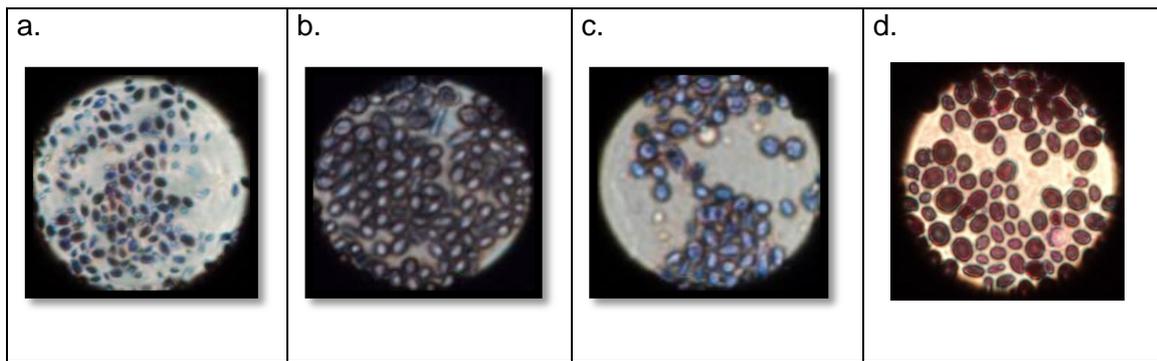
Los principales mohos encontrados pertenecieron a los géneros *Aspergillus*, *Penicillium* y *Fusarium* (Figura 3), los mismos que son considerados ubicuos por su distribución mundial, principalmente están asociados con la tierra, aire, cereales, vegetales y frutas en descomposición; pueden estar asociados a los ingredientes y por ende a la forma de elaboración de la bebida (Reiss, Shadomy, & Lyon, 2012; Samson, Hoekstra, Frisvad, & Filtenborg, 1995).



**Figura 3.** Cepas representativas de mohos.  
**a.** *Aspergillus*; **b.** *Penicillium*; **c.** *Fusarium*.

En relación a las levaduras identificadas la mayoría de ellas son comunes en productos fermentados y se asocian a los ingredientes y forma de preparación de la bebida (Figura 4). *Rhodotorula mucilaginosa* que se caracteriza por la coloración rojo salmón de sus colonias, se considera ubicua debido a su distribución mundial en el agua, suelo, agua dulce y hábitats marinos. Posee una gran capacidad de colonizar una gran variedad de sustratos (Libkind, Gadanho, & Broock, 2007).

*Saccharomyces cerevisiae*, considerada como una especie modelo para estudios biológicos y genómicos, se encuentra sobre sustratos ricos en azúcares o en los exudados y savias dulces de algunas plantas. Es muy importante por su funcionalidad en la industria alcohólica, panadera, cervecera; además de que forma compuestos aromáticos, mejora del valor nutritivo de los alimentos, posee efectos probióticos, inhibición de microorganismos no deseados (Jerpersen, 2002).



**Figura 4.** Cepas representativas de Levaduras.  
**a.** *Candida*; **b.** *Rhodotorula*; **c.** *Saccharomyces*; **d.** *Trichosporon*.

*Trichosporon mucoides*, tiene como hábitat natural el suelo, agua de río, agua de mar, agua de lagos, plantas y alimentos fermentados (Kurtzman, Fell, & Boekhout, 2011; Richardson & Warnock, 2011).

*Candida guilliermondii*, se encuentra aislada en la piel normal de las personas, en el agua de mar, en el suero de leche, productos fermentados y en especial la cerveza (Rippon, 1988; Pfaller, y otros, 2006).

*Candida sphaerica*, es una levadura que tiene como hábitat vegetales, productos fermentados como el queso, cereales remojados; también puede estar presente en la piel de humanos y animales; por lo que la presencia de esta puede atribuirse a los ingredientes utilizados, como también al proceso fermentativo por el que cruza el sustrato (Luna, Rufino, Campos, & Sarubbo, 2012).

*Candida utilis* se encuentra aislada en flores, pero también puede desarrollarse en alimentos fermentados; lo que sugiere que la presencia de dichos microorganismos se pueden atribuir a la etapa fermentativa que atraviesa (Kurtzman, Fell, & Boekhout, 2011).

#### 4. Conclusiones

La bebida fermentada tradicional “chicha de arroz” en la provincia Bolívar es elaborada artesanalmente y presenta variación en su preparación ya que no existe un control estricto en cuanto a los parámetros de elaboración de la misma. La chicha de arroz es una bebida cuyo perfil microbiológico, en este estudio, podría atribuirse a las características y la calidad de sus ingredientes además de su forma de elaboración ya que los tipos de enterobacterias y mohos encontrados en la misma según datos bibliográficos son propios de los ingredientes utilizados, y la forma de preparación de la bebida.

En cuanto a los valores de los recuentos de enterobacterias, bacterias lácticas mohos y levaduras presentes en las chichas son similares entre productores; las poblaciones microbianas presentes

en la “chicha de arroz” cambiaron según la etapa fermentativa en la que esta se encontraba. También se ha determinado que en la bebida tradicional “chicha de arroz” se encuentran cepas representativas de enterobacterias, mohos, bacterias ácido lácticas y levaduras, lo cual indica la posibilidad de que estas sean obtenidas por medio de esta bebida como fuente natural de aislamiento. El aislamiento de cepas con propiedades metabólicas adecuadas para la formulación de cultivos iniciadores en un proceso de fermentación controlado, se convierten en una alternativa viable para el desarrollo de un producto inocuo, de alta calidad que pueda cumplir con los estándares más exigentes.

#### 4.1. Perspectivas futuras

Es necesario caracterizar molecularmente las cepas. Se recomienda indagar y estudiar otro tipo de bebidas fermentadas tradicionales de nuestro país ya que, al identificar la diversidad microbiana presente en estas, se podría en un futuro, industrializar las cepas que presenten una importante capacidad fermentativa; por lo que es recomendable preservar como potenciales inóculos las cepas nativas encontradas en las bebidas tradicionales del Ecuador para estudios posteriores, y así también establecer rangos comparativos para poder comparar la calidad microbiológica de las bebidas fermentadas tradicionales debido a que son de consumo masivo en países latinos.

#### Bibliografía

- Alimentos, C. I. (2000). *Microorganismos de los alimentos*. Zaragoza: Acribia.
- Arroyo, A., Bencomo, M., & Bianco, H. (2011). *Perfil microbiológico de la chicha de venta ambulante en Abrquisimeto*. Universidad Centrooccidental Lisandro Alvarado.
- Bagley, S. (1985). *Habitat association of Klebsiella species*.
- Bayas, A., Jines, D., Salazar, G., & Del Pozo, F. (sf). *Modelización del efecto del tiempo en la densidad y grados brix de la chicha elaborada a partir de cebada germinada enriquecida con maíz amarillo (Zea mays)*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- Cartagena, D., Centellas, K., Torrico, N., Saavedra, E., & Sejas, M. (2009). Contaminación enterobacteriana del guarapo de una fábrica de Cochabamba, en fermentación normal y fermentación flemosa. *Revista Ciencia Medicina SCIELO*.
- Cervantes, M., & Pedroza, A. (2007). *El pulque: características microbiológicas y contenido alcohólico mediante espectroscopia*. Instituto Politécnico Nacional Ticoman.
- Decheco, A. (2009). *Análisis Microbiológico de Bebidas*. Perú: Universidad Nacional Federico Lorca.
- Dworkin, M., Falkow, S., Rosenberg, E., Schleifer, K., & Stackebrandt, E. (2006). *The Prokaryotes*. Springer.
- Ecuador, M. d. (2012). *Ecuador culinario - saberes y sabores*. Quito.

- Estela, W., Richtera, M., Melzoch, K., Hatta, B., Quillama, E., Ludeña, Z., . . . Chaquilla, G. (2011). Actividad Fermentativa de *Hanseniaspora uvarum* y su importancia en la producción de bebidas fermentadas. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*, V35. N1.
- Fula, A. (2010). *Desarrollo de una bebida fermentada con adición de cocción de maíz*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia.
- Gamazo, C., López, I., & Díaz, R. (2009). *Manual Práctico de Microbiología*. Barcelona - España: Elsevier Masson.
- García, C., Arrázola, G., & Durango, A. (2010). *Producción de ácido láctico por vía tecnológica*. Universidad de Córdoba.
- Gassem, M. (2002). A microbiological study of Sobia: a fermented beverage in the Western province of Saudi Arabia. *World Journal of Microbiology & Biotechnology*.
- Giles, M., Hernández, G., Córdoba, M., López, A., Gosset, G., Bolívar, F., & Escalante, A. (2001). *Estudio de la diversidad bacteriana durante la fermentación del pulque, una aproximación polifásica*. México: UNAM.
- Grimont, F., & Grimont, P. (2006). *The genus Enterobacter; prokariotes*.
- Holt, J., Krieg, N., Sneath, P., Staley, J., & Williams, S. (1994). *Bergey's Manual of Determinative Bacteriology*. Lippincott, Williams & Wilkins.
- INEC. (2009). *Sistema agroalimentario del Arroz*. Ecuador.
- Jerpersen, N. (2002). Occurrence and taxonomic characteristics of strains of *Saccharomyces cerevisiae* predominant in African indigenous fermented foods and beverages. *Federation of European Microbiological societies*, Dinamarca.
- Jiménez, R., González, N., Magaña, A., & Corona, A. (2010). *Evaluación microbiológica sensorial de fermentados de pozol blanco con cacao (Theobroma cacao) y coco (Cocos nucifera)*. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.
- Kurtzman, C., Fell, J., & Boekhout, T. (2011). *The Yeast: a taxonomy study*. San Diego - USA: Elsevier.
- Libkind, D., Gadanho, M., & Broock, M. (2007). *Studies on the heterogeneity of the carotenogenic Rhodotula mucilaginosa from Patagonia*. Argentina: Universidad Nacional de Comahue.
- López, W., Ramírez, M., Mambuscay, L., & Osorio, E. (2010). Diversidad de levaduras asociadas a chichas tradicionales de Colombia. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 176 - 186.
- Luna, J., Rufino, R., Campos, G., & Sarubbo, L. (2012). *Properties of the biosurfactant produced by Candida sphaerica cultivated in low-cost substrates*. Catholic university of Pernambuco, Brasil: Center of Science and Technology.
- Noriha, A., Hamidun, B., & Indu, B. (2011). *Erwinia mallotivora sp. a new pathogen of papaya (Carica papaya) in Peninsular Malaysia*. Malaysian Agricultural Research and Development institute.
- Pfaller, M., Diekema, J., Mendez, M., Kibbler, K., Erzsebet, P., Chang, S., . . . The global antifungal surveillance group. (2006). *Candida guilliermondii, an opportunistic fungal pathogen with*

*decreased susceptibility to fluconazole.* Iowa - USA: Department of pathology, University of Iowa.

Proaño, V. (2009). *Chicha de arroz: una bebida muy refrescante.*

Ramírez, J., Rosas, P., Velázquez, M., Ulloa, J., & Arce, F. (2011). *Bacterias lácticas: Importancia en alimentos y sus efectos en la salud.* Universidad Autónoma de Nayarit.

Reiss, E., Shadomy, J., & Lyon, M. (2012). *Fundamental medical micology.* New Jersey - USA: Willey-Blackwell.

Richardson, M., & Warnock, D. (2011). *Fungal infection: diagnosis and management.* Washington DC - USA: Wiley- Blackwell.

Rippon, J. (1988). *Medical micology.* Philadelphia - USA: W.B. Saunders CO.

Rosas, A. (2012). *Análisis de chicha de jora como elemento de identidad gastronómica y cultural de la ciudad de Cuenca.* Cuenca: Universidad de Cuenca.

Samson, R., Hoekstra, E., Frisvad, J., & Filtenborg, O. (1995). *Introduction to Food-borne Fungi.* Holanda.

Sanchez, M., López, C., Flores, M., Jofre, A., Aguirre, J., Morales, E., & Reyes, R. (2010). *Estudio preliminar del Axocot, bebida tradicional fermentada, bajo una perspectiva transdisciplinaria.* UNAM.

Sanders, M., Morelli, L., & Tompkins, T. (2003). Sporeformers as human probiotics: Bacillus, Sporolactobacillus, and Brevibacillus. *Comprehensive reviews in food science and food safety.*

Stainer, R., Ingraham, J., Wheelis, M., & Painter, P. (2005). *Microbiología.* Barcelona, España: Reverté S.A.

## **Fritura al Vacío: Un enfoque nutricional**

### ***(Vacuum Frying: A nutritional approach)***

Manuel Coronel<sup>1</sup>

#### **Resumen:**

Uno de los más grandes rubros de la industria alimenticia es la producción de snacks, pero estos presentan, generalmente, un perfil nutricional poco adecuado dentro de una alimentación saludable. La tecnología de Fritura al vacío se presenta como una clara opción de procesamiento para el desarrollo de nuevos productos y de los ya existentes. Este artículo de revisión presenta las ventajas del uso de la Tecnología de Fritura al Vacío en diferentes tipos de alimentos, especialmente en relación al contenido de algunos micronutrientes y grasa. Se mencionan además los trabajos efectuados en Ecuador, especialmente en productos autóctonos.

**Palabras clave:** fritura al vacío, aperitivo, fritura profunda, contenido nutricional.

#### **Abstract:**

One of the largest areas of the food industry is the production of snacks, but these have generally an inadequate nutritional profile in healthy eating. The vacuum frying technology is presented as a clear option processing for the development of new products and existing ones. This review article presents the advantages of using technology in Vacuum frying different types of food, especially in relation to the contents of some micronutrients and fat. They also mention the work done in Ecuador, especially in local products.

**Keywords:** vacuum frying, snacks, deep frying, nutritional content.

## **1. Introducción**

Los temas nutricionales se encuentran en primera línea, tanto en el campo científico (líneas de investigación) como en medicina preventiva, clínica y terapéutica. En las últimas décadas, se han producido cambios significativos en los hábitos alimenticios de la población, debido a diversos factores como el ritmo de vida, la incorporación de la mujer al ámbito laboral y la influencia de los medios de comunicación y publicitarios. Dentro de los hábitos adquiridos a la hora de alimentarse, aparecen los agrupados en la denominada “comida rápida”, de gran aceptación por parte de los consumidores. Las de mayor consumo, entre los jóvenes, son las papas fritas, hamburguesas o hot dogs y que pueden a su vez, estar elaborados con grasas de elevados niveles de ácidos grasos saturados, o también con grasas vegetales parcialmente hidrogenadas (Barrado, Mayo, Tesedo, Romero, & De la Rosa, 2008).

El consumo excesivo de grasa, componente principal en los alimentos fritos, es un factor dietético clave en la incidencia de enfermedades coronarias y, probablemente, en algunos tipos de cáncer.

---

<sup>1</sup> Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito – Ecuador (cfma7065@ute.edu.ec)

A esto se añade que los consumidores están interesados en alimentos más saludables pero no están dispuestos a renunciar a la parte organoléptica (Dueik & Bouchon, 2011).

## **2. Fritura**

La fritura es un ejemplo de deshidratación y una de las operaciones unitarias más utilizadas en la industria alimentaria (Ibarz & Barbosa-Cánovas, 2005) Además, es uno de los métodos más difundidos en el mundo, especialmente por la generación de propiedades muy particulares como la formación de corteza, aromas o el aspecto visual (Mallikarjunan, Ngadi, & Chinnan, 2010).

La aplicación industrial del proceso de fritura, presenta amplias ventajas ya que, al introducir el alimento en un medio constituido por una materia grasa (aceite) calentada a temperaturas entre 170 - 180 °C , y por un tiempo relativamente corto, cambia rápidamente sus características físicas, químicas y sensoriales (Robert et al., 2001).

### **2.1. Fritura profunda**

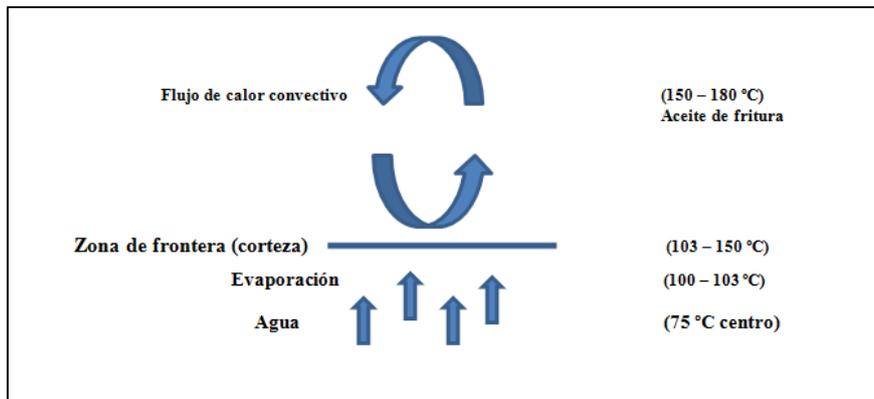
Durante la fritura por inmersión o también denominada profunda, el alimento se cocina debido a la transferencia de calor directa desde el aceite caliente hacia el alimento; cuando el alimento se introduce en el aceite caliente, la temperatura de este último baja, la humedad superficial del alimento se vaporiza súbitamente, mientras que el agua en el interior se difunde hacia la superficie, para finalmente pasar a la fase de vapor y viajar a través del aceite de fritura al ambiente externo, lo que se evidencia, a su vez, por la presencia de abundantes burbujas en el aceite. Simultáneamente, mientras avanza el proceso, el alimento comienza a desarrollar su color característico (Rojas & Narváez, 2011).

Los medios de fritura, por ejemplo aceites, poseen alta capacidad calorífica, esto permite transferir energía para superar el punto de ebullición del agua. Debido a la evaporación en la frontera (entre la corteza formada y el aceite), el agua difunde desde el interior hacia el medio de fritura, es decir, se genera una transferencia de masa. Apenas finaliza la transferencia de agua, se superan los 100 °C de temperatura y se inicia la producción de aromas, sabores y color característicos. A partir de los 120 °C, empiezan a producirse ciertas sustancias, como la acrilamida, compuesto potencialmente carcinógeno (Gertz & Matthäus, 2008).

La Figura 1 esquematiza el fenómeno de transferencia de masa y energía donde se aprecia el gradiente de temperatura entre el interior del alimento y el medio de fritura (aceite) con la corteza o costra en la zona de frontera.

En el proceso de fritura además ocurren transformaciones en la composición del alimento y en el medio de fritura (aceite) en niveles que dependen de las condiciones de proceso (temperatura, tiempo), de la naturaleza del producto a freír y de la calidad / cantidad de aceite. Además, en el

periodo de enfriamiento, algunas investigaciones demostraron que el alimento absorbe la mayor cantidad de grasa en esta fase (Suaterna, 2008).



**Figura 1.** Transferencia de masa y calor en fritura profunda ( $P = 101.3 \text{ kPa}$ ).

Suaterna (2009), señala que todos los aceites, presentan cambios en el contenido de nutrientes y que pueden generar compuestos tóxicos, los que a su vez, pasan al alimento. Las transformaciones se presentan lenta o rápidamente, según las condiciones de proceso, donde las más críticas son: temperatura; tipo de alimento, relación aceite / alimento, materiales de fabricación de freidoras, reposición de aceite de fritura (por pérdida en proceso), limpieza y condiciones de almacenamiento del aceite.

## 2.2. Fritura al vacío

En esta técnica, el alimento es procesado bajo condiciones de presión reducida (subatmosférica) en un sistema cerrado. Esto permite disminuir el punto de ebullición del agua contenida en el alimento y conseguir así, temperaturas más bajas de fritura (Bravo, Sanjuán, Clemente, & Mulet, 2011).

En este tipo de proceso, la temperatura del aceite se encuentra en promedio a 110 °C y 3,1 kPa (presión donde el agua hierve a 25 °C) (Garayo & Moreira, 2002). El mecanismo de transferencia de calor, en la fritura al vacío, es similar a la fritura convencional (presión atmosférica) pero con la diferencia que la temperatura del aceite de fritura será menor (en condición subatmosférica) (Yamsaengsung & Rungsee, 2006).

Según Dueik & Bouchon (2011), esta tecnología es prometedora en cuanto a la producción de snacks más saludables, según la materia prima de origen y conservando además sus particulares características originales. Estos beneficios se deben a las bajas temperaturas de proceso y la menor exposición al oxígeno. Por esta razón, los nutrientes de vegetales y frutas, por ejemplo vitaminas, que son sensibles a las condiciones de proceso en la fritura convencional, hacen que la fritura al vacío sea una clara opción de procesamiento para este tipo de alimentos.

La Tabla 1, ilustra las diferencias fundamentales entre la fritura convencional y la de vacío. Aquí aparecen, por ejemplo, los compuestos polares, que son consecuencia del deterioro de los aceites de fritura, así como la acrilamida, un compuesto considerado potencial carcinógeno, y que se genera a partir de los 120 °C (se ha demostrado que su formación depende especialmente de la temperatura) (Dueik & Bouchon, 2011).

**Tabla 1.** Comparación de fritura, en condiciones atmosféricas y bajo presión reducida (vacío)

<b>Presión atmosférica</b>	<b>Presión reducida</b>
Temperatura (160 – 190 °C)	Temperatura (90 – 110 °C)
Abierto. Presión, según la altura sobre el nivel del mar. Quito (70 kPa)	Hermético. Presión según capacidad de generación de vacío del equipo (aprox. <7 kPa)
Contenido de grasa (Snacks), por encima del 24% (especialmente hojuelas de papas)	Contenido de grasa por debajo de 20% (papa de consumo industrial en hojuelas, hasta 6% combinado con centrifugación)
Sistema de calentamiento, muy común GLP (Gas Licuado de Petróleo)	Sistema de calentamiento eléctrico (mayor costo)

En términos generales, los beneficios por aplicación de esta tecnología son consecuencia de las bajas temperaturas y la menor exposición al oxígeno atmosférico. Maadyrad et al (2011), reconocen los siguientes:

- Reducción de los efectos adversos en la calidad del aceite de fritura.
- Conservación de componentes naturales de color y flavor.
- Reducción del contenido de acrilamida.
- Mejor conservación de nutrientes.

### **2.3. Micronutrientes**

Entre los antioxidantes naturales se encuentran: ácido ascórbico, carotenoides, antocianinas y betalaínas. Estos pueden funcionar como inhibidores de radicales libres, previniendo así, ciertas enfermedades de tipo crónico. Estos componentes benéficos, están presentes en gran variedad de materias primas, pero son muy sensibles a las condiciones de la fritura convencional (Dueik & Bouchon, 2011).

Se cree que la relativa estabilidad de las vitaminas hidrosolubles en productos derivados de la fritura, comparado con métodos tradicionales de cocción en agua, se debe a los tiempos cortos de proceso y a la formación de la corteza o costra que logra un efecto de retención de líquidos del alimento (Han, Kozukue, Young, Lee, & Friedman, 2004).

Villamizar et al (2011), al trabajar con snacks de mango (T= 110 °C, t= 90 s) encontraron una pérdida de 43,2 % de vitamina C, comparado con un 93,8% en fritura convencional (T = 175 °C, t

= 30 s). Además, con panel de jueces semi entrenados, calificaron mejor a la fritura al vacío en cuanto a color y sabor, sin presentar diferencia significativa los atributos de aroma y textura.

En fritura de kiwi (  $T = 80\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t = 50\text{ min}$ ,  $P = 2.3\text{ kPa}$ ), Diamante et al (2011) encontraron una pérdida de 51,7 % de vitamina C que se incrementa hasta 67,8% en condiciones de fritura a  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  durante 25 minutos, pero en estas mismas condiciones, la pérdida es de 61% si se somete a pre tratamiento con solución de malto dextrina (concentración 33%) por una hora (efecto protector de vitamina C).

Da Silva & Moreira (2008), estudiaron la retención de carotenoides en algunos vegetales (ejotes, chips de mango y camote) al someter a condiciones de fritura convencional y al vacío. Encontraron en condiciones de vacío una retención de hasta 51% para camote y de 18 y 19% respectivamente para ejotes y mango en comparación con la fritura convencional.

Por otro lado, durante la fritura al vacío, se ha conseguido retener 90% de alfa caroteno y 86% de beta caroteno en rodajas de zanahoria (la fuente dietética más importante), comparado con un 36% en condiciones atmosféricas. Además, se ha presentado una importante correlación entre color y contenido de carotenos (Dueik, Robert, & Bouchon, 2010).

En papas nativas ecuatorianas, variedades yanashungo y pucashungo, se ha logrado reducir, mediante fritura al vacío (4.41 KPa,  $115 - 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) la pérdida de ácido ascórbico y antocianinas frente a la fritura convencional (Villacrés, Untuña, & Bravo, 2013).

Se ha reportado además, para antocianinas, una pérdida de 33,55% en yanashungo y 5% en pucashungo, a diferencia de los polifenoles totales (para ambas variedades) que se degradaron en promedio, en el orden del 99.35 % con la técnica de fritura al vacío y 98,52 % aplicando fritura convencional (Untuña, 2013).

## **2.4. Grasa**

La absorción de aceite por parte del alimento, tiene un gran impacto nutricional. Productos como las papas fritas (chips o bastones), se consumen en grandes cantidades, y esto contribuye significativamente en la ingesta de lípidos, que se conoce tienen influencia en la prevalencia de sobrepeso (Cocio, 2006).

En fritura al vacío (10 kPa / 10 min) de papa, variedad *Fripapa INIAP*, Coronel (2012) redujo el contenido de grasa en un 72% en hojuelas (chips) y en un 65% en bastones en comparación con la fritura convencional (Quito, 70 kPa / 10 min). En ambos casos (hojuelas y bastones), se aplicó post tratamiento de centrifugación (1800 rpm / 10 min) en las mismas condiciones sub atmosféricas (10 kPa).

Villacrés, et al., (2013) aplicaron fritura al vacío durante 5 minutos en papas nativas ecuatorianas, variedades yanashungo (4.41 kPa, 125 °C) y pucashungo (4.41 kPa, 115 °C) y, obtuvieron en los chips u hojuelas, valores de 12,23% y 8,10% en contenido de grasa respectivamente. Se sabe que, las variedades mencionadas, presentan aptitud para el procesamiento de hojuelas fritas en condiciones atmosféricas y con resultados alentadores en el aspecto sensorial, comparado con la variedad Fripapa INIAP.

Serrano (2013), al desarrollar chips de Mashua, aplicó combinaciones de pretratamientos (deshidratación osmótica vs cocción) y obtuvo los menores niveles de grasa porcentual en chips obtenidos a partir de Mashua con deshidratación, pero sin cocción previa ( $8.23 \pm 0.27$ ).

Hay que mencionar que, tanto la calidad del aceite, como la del absorbido por el alimento después de la fritura, se ven influenciados por las variables de proceso en condiciones subatmosféricas.

Se ha conseguido snacks a base de Oca (*Oxalis tuberosa*) con pretratamientos (escaldado y deshidratación osmótica) que han permitido a su vez, llegar a productos con un promedio de grasa del 9% (A. Suntaxi & Bravo, 2014) y una reducción simultánea de hasta 92% de acidez (ácido oxálico) comparado con el producto en fresco (A. Suntaxi, Vernaza, & Bravo, 2014).

En Snacks a base de Mashua (*Tropaeolum tuberosum*), se redujo el nivel de grasa desde 28% (fritura convencional) hasta 11% en condiciones subatmosféricas, lo que representa un 60% de disminución (Serrano, Vernaza, & Bravo, 2013).

Reyes (2014), comparó la calidad del aceite de fritura al vacío (en desarrollo de snacks de cebolla paitaña y piña) frente al utilizado en fritura convencional al trabajar en la recuperación de este, con tierra de blanqueo natural, encontró que el grado de deterioro es significativamente menor en el aceite del proceso con vacío (% de ácidos grasos libres e índice de peróxido IP) y Quintana (2014), en el aceite usado en el desarrollo del mismo tipo de productos pero con tierra de blanqueo artificial (Trysil), comparó también con fritura convencional y encontró la misma tendencia en %AGL y e IP.

La Tabla 2, permite apreciar la tendencia al desarrollo de productos autóctonos ecuatorianos con tecnologías actuales, la reducción del contenido de grasa, reducción de acidez y de niveles de índice de peróxido y ácidos grasos libres del aceite de fritura.

**Tabla 2.** Fritura al Vacío en Ecuador (< 5 años)

<b>Autor</b>	<b>Aplicación</b>	<b>Resultado</b>
Suntaxi, Vernaza & Bravo (2014)	Chips de Oca	Reducción de acidez
Suntaxi & Bravo (2014)	Pre tratamientos de Oca	Disminución de acidez en producto elaborado. Reducción del contenido de grasa.
Reyes (2014)	Recuperación de aceite de fritura al vacío con tierras de blanqueo natural	Aceite de fritura al vacío con menores niveles de AGL, IP
Quintana (2014)	Recuperación de aceite de fritura al vacío con tierras de blanqueo artificial	Aceite de fritura al vacío con menores niveles de AGL, IP
Villacrés et al. (2013)	Atributos de calidad de los chips de papa en Ecuador	Chips bajos en grasa
Serrano (2013)	Productos tipo snack de mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> )	Chips de mashua (dulce y salada) con menores niveles de grasa
Serrano, Vernaza & Bravo (2013)	Pretratamientos a Mashua ( <i>Tropaeolum tuberosum</i> ) para fritura al vacío.	Reducción del contenido de grasa en producto elaborado
Suntaxi (2013)	Productos tipo aperitivo a base de Oca ( <i>Oxalis tuberosa</i> )	Chips de Oca
Garcés (2013)	Obtención de chips de cebolla Perla ( <i>Allium cepa L.</i> )	Snack en aros de cebolla perla
Untuña (2013)	Atributos de calidad de chips de papa nativa.	Chips con mayores niveles de antioxidantes y menor contenido de grasa.
Coronel (2012)	Reducción de grasa en Papa variedad Fri papa INIAP	Chips y Bastones con menores niveles de grasa
Jibaja (2010)	Cinética de Absorción de aceite durante la fritura de Tomate de árbol ( <i>Solanum betaceum Cav.</i> )	Chips de tomate de árbol, con menores niveles de grasa.

### 3. Conclusiones

La presión reducida, la temperatura del medio (aceite), los niveles de oxígeno conseguidos, entre otros aspectos, han logrado, para diferentes alimentos, perfiles de calidad nutricional significativos. Estos resultados permiten suponer el desarrollo de productos tipo aperitivo (Snacks) con menores niveles de grasa, mayor contenido en antioxidantes y vitaminas (usualmente escasas en los productos obtenidos a presión atmosférica), perfiles sensoriales mejorados o aceites de fritura menos alterados.

El reglamento de etiquetado en Ecuador, pretende facilitar el acceso a una información nutricional más clara y precisa, y que los consumidores, al momento de elegir sus alimentos, puedan hacerlo con mejores criterios. La fritura al vacío posee la capacidad de retener determinados nutrientes de interés para un consumidor cada vez más informado y para sistemas de salud pública más exigentes con la industria alimentaria.

Hace falta valorar la factibilidad del proceso en nuestro medio (Ecuador) para explotar su potencial. Los costos deberán ser consecuencia de los sistemas alimentarios involucrados, de la eficiencia energética conseguida, de los materiales y equipos elegidos, de la soberanía energética en marcha, en fin, de todos los recursos que pueden hacer posible alimentos más saludables y atractivos.

La aplicación en productos autóctonos se hace necesaria, sobre todo, por el perfil nutricional y el incentivo a la soberanía alimentaria. La recuperación de tubérculos andinos (oca, mashua), el interés por las frutas exóticas ecuatorianas o las nuevas fuentes para extraer aceites y grasas de consumo humano (por ejemplo, sacha inchi), abren un camino muy amplio a una tecnología relevante a la realidad local y global.

## **Bibliografía**

- Barrado, E., Mayo, M., Tesedo, A., Romero, H., & De la Rosa, F. (2008). Composición grasa de diversos alimentos servidos en establecimientos de "comida rápida". *Nutrición Hospitalaria*, 23(2), 148-158.
- Bravo, J., Sanjuán, N., Clemente, G., & Mulet, A. (2011). Pressure Effect on Deep Fat Frying of Apple Chips. *Drying Technology: An International Journal*, 29(4), 472 - 477.
- Cocio, C. (2006). Estudio de la distribución del aceite en rodajas de papa frita. Universidad de Chile, Santiago.
- Coronel, M. (2012). Reducción del contenido de grasa mediante fritura al vacío en snacks de papa. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Da Silva, P., & Moreira, R. (2008). Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *Food Science and Technology* 41(10).
- Diamante, L., Presswood, H., Savage, G., & Vanhanen, L. (2011). Vacuum fried gold kiwifruit: Effects of frying process and pretreatment on the physico-chemical and nutritional qualities *International Food Research Journal*, 18.
- Dueik, V., & Bouchon, V. (2011). Development of Healthy Low-Fat Snacks: Understanding the Mechanisms of Quality Changes During Atmospheric and Vacuum Frying. *Food Reviews International*(27), .
- Dueik, V., Robert, P., & Bouchon, P. (2010). Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*, 119(3).

- Garayo, J., & Moreira, R. (2002). Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*, 55(2), 181-191.
- Garcés, V. (2013). Obtención de chips de cebolla perla (*Allium cepa* L.). UTE, Quito.
- Gertz, C., & Matthäus, B. (2008). Optimum deep - frying. In DGF (Eds.)
- Han, J., Kozukue, N., Young, K., Lee, K., & Friedman, M. (2004). Distribution of Ascorbic Acid in Potato Tubers and in Home-Processed and Commercial Potato Foods. *J. Agric. Food Chem*, 52(21).
- Ibarz, A., & Barbosa-Cánovas, G. (2005). *Operaciones Unitarias en la Ingeniería de Alimentos*. Barcelona.
- Jibaja, H. (2010). Modelado de la cinética de absorción de aceite durante el proceso de fritura al vacío de hojuelas de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). EPN, Quito.
- Maadyrad, A., Ghiassi, B., Bassiri, A., & Bamenimoghadam, M. (2011). Process Optimization in Vacuum Frying of Kiwi Slices Using Response Surface Methodology *Journal of Food Biosciences and Technology*, 1.
- Mallikarjunan, K., Ngadi, M., & Chinnan, M. (2010). Breaded Fried Foods.
- Quintana, N. (2014). Recuperación de aceite de fritura al vacío mediante la aplicación de tierra filtrante Trysil. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Reyes, D. (2014). Recuperación de aceite de fritura al vacío mediante aplicación de tierra filtrante Bentonita Cálcica Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Robert, P., Masson, L., Romero, N., Dobarganes, M., Izaurieta, M., Ortiz, J., et al. (2001). Fritura industrial de patatas críps. Influencia del grado de insaturación de la grasa de fritura sobre la estabilidad oxidativa durante el almacenamiento. *Grasas y Aceites*, 52(6).
- Rojas, E., & Narváez, P. (2011). Método de análisis de calidad del aceite durante el freído por inmersión para pequeñas y medianas empresas. *INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 31(1), 83-92.
- Serrano, V. (2013). Obtencion de productos tipo aperitivo (snack) de mashua (*Tropaeolum tuberosum*) mediante la aplicacion de fritura al vacío. ute, Quito.
- Serrano, V., Vernaza, G., & Bravo, J. (2013). Healthy chips of mashua (*Tropaeolum tuberosum*) obtained by vacuum frying. Paper presented at the Simposio Latinoamericano de Ciencia de Alimentos, Sao Paulo, Brasil.
- Suaterna, A. (2008). La fritura de los alimentos: pérdida y ganancia de nutrientes en los alimentos fritos. *PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA*, 10(1).
- Suaterna, A. (2009). La fritura de los alimentos: el aceite de fritura. *PERSPECTIVAS EN NUTRICIÓN HUMANA*, 11(1).
- Suntaxi, A. (2013). Obtención de un producto tipo aperitivo (Snack) a partir de Oca (*Oxalis tuberosa*) mediante fritura al vacío. UTE, Quito.

- Suntaxi, A., & Bravo, J. (2014). Efecto de los pretratamientos en la fritura la vacío de chips de Oca (Oxalis tuberosa) Paper presented at the Congreso Iberoamericano De Ingeniería de Alimentos, Valencia, España.
- Suntaxi, A., Vernaza, G., & Bravo, J. (2014). reducción de la Ácidez de Chips de oca (Oxalis Tuberosa) por Fritura al Vacío. Rev.Fac.Nal.Agr.Medellín, 67(2).
- Untuña, P. (2013). Estudio del efecto de la fritura al vacío sobre los atributos de calidad de chips de papa nativa. Universidad Tecnológica Equinoccial, Quito.
- Villacrés, E., Untuña, P., & Bravo, J. (2013). Efecto de la fritura al vacío sobre los atributos de calidad de los chips de papa en Ecuador. Quito.
- Villamizar, R., Quiceno, M., & Giraldo, G. (2011). Comparación de la fritura al vacío y atmosférica en la obtención de pasabocas de mango (*Manguifera indica L.*). Tmas agrarios, 16(1).
- Yamsaengsung, R., & Rungsee, C. (2006). Modeling the heat and mass transfer during the vacuum frying of chips.

# Influencia de las ráfagas de viento en la calidad de la energía de los parques eólicos

## *(Influence of wind gusts in power quality on wind farms)*

Gonzalo Guerrón<sup>1</sup>, Edwin García<sup>1</sup>, Andrés Montero<sup>1</sup>

### **Resumen:**

La matriz energética mundial está cambiando debido a que el consumo de energía en los últimos años se ha duplicado. En muchos países la instalación de centrales de energías renovables no convencionales se ha convertido en la solución a este crecimiento. La integración de este tipo de energías a la red eléctrica causa interés en el estudio de las propiedades eléctricas que afectan la producción de energía. Este documento es una revisión de los conceptos y fenómenos de calidad de energía y cómo estos se generan en parques eólicos. La eficiencia de los aerogeneradores se ve afectada por diversos factores, entre los cuales se destacan: las maniobras en subestaciones y los factores climáticos como las ráfagas de viento causantes de variaciones en la curva de potencia. El monitoreo constante en los sistemas eléctricos y el análisis de datos ofrece un alto potencial en la mejora de los procesos de producción y distribución de la energía.

**Palabras clave:** Calidad de Energía; Parques Eólicos; Ráfagas de viento; Fenómenos Electromagnéticos

### **Abstract:**

World energy matrix is changing due to the increase of energy consumption in the last years. Installation of unconventional renewable energy plants in many countries has become a solution to this event. Integration of this type of energy to the electric network causes interest in the study of phenomena that affects energy production. This document is a review of concepts and events occurring on energy quality and how they interact in a wind farm. The efficiency of wind turbines is affected by many factors, the most outstanding are: substations activities and weather issues such as wind gusts, which causes variations in the power curve. Constant monitoring on electric systems and data processing offers a high potential in improving the process of production and distribution of energy.

**Keywords:** Quality Power; Wind Farms; Wind Gusts; Electromagnetic Phenomena

## **1. Introducción**

La energía eléctrica puede ser considerada como uno de los principales insumos que mueven el mundo industrial. Sin ella las empresas se detendrían y las economías enteras se paralizarían. Debido a su importancia es sumamente necesario saber administrarla.

Se ha analizado que más de la mitad de la energía eléctrica que se produce en el mundo es consumida por los sectores industriales y comerciales (Ramírez & Cano, 2006) por lo que es

---

<sup>1</sup> Instituto de Eficiencia Energética y Energías Renovables, Coordinación General Técnica, Quito – Ecuador (gonzalo.guerron@iner.gob.ec, edwin.garcia@iner.gob.ec, andres.montero@iner.gob.ec)

necesario dar un buen uso a este tipo de energía, siendo el ahorro de energía una de las mejores opciones en la reducción de costos de operación y con lo que se logra mejoras en los estándares de competitividad dentro del mundo industrial.

Uno de los aspectos que ha tomado gran importancia con la integración de los diferentes sistemas eléctricos, es el estudio de la calidad de energía enfocado a la generación de electricidad con fuentes renovables no convencionales, como es el caso de la energía eólica. (Llamas & De los Reyes, 2010). Debido a que esta energía renovable es una de las más utilizadas en la generación eléctrica de alta potencia, es importante contar con indicadores de eficiencia energética para mantener el equilibrio entre la calidad de energía y su producción.

La calidad de energía se refiere a varios tipos de perturbaciones eléctricas como: elevaciones y caídas de voltaje, parpadeos, impulsos, armónicos, componentes de voltaje continuo, transitorios, interferencia electromagnética e interrupciones en el sistema eléctrico; también se puede clasificar este tipo de perturbaciones en tres grupos de variaciones: frecuencia, amplitud y fenómenos transitorios (Ozgonenel et al., 2013). En el caso de parques eólicos, la calidad de energía se ve afectada por los cambios bruscos en la velocidad del viento llamados ráfagas, las cuales disminuyen el rendimiento de los aerogeneradores. Este problema da como resultado un punto de partida para futuras investigaciones.

## **2. Metodología**

En este trabajo se revisaron algunas de las variables que influyen en la calidad de energía, generada por los parques eólicos; para ello se realizó una recopilación bibliográfica acerca de las posibles perturbaciones provocadas: en la operación de un parque, condiciones atmosféricas como ráfagas de viento y factores externos.

### **2.1. Calidad de Energía**

La calidad de energía se conoce como un conjunto limitado de propiedades eléctricas que permite a todos los sistemas eléctricos funcionar de la manera prevista sin pérdidas significativas de rendimiento y de la vida útil de los equipos.

El término se utiliza para describir a la energía eléctrica que alimenta una carga y la capacidad de ésta para que funcione correctamente, tomando en cuenta esto, se puede decir que sin la adecuada potencia los dispositivos eléctricos pueden funcionar de manera incorrecta o simplemente no funcionar en lo absoluto (Saini & Kapoor, 2012).

Se considera un problema de calidad de energía eléctrica cuando existen perturbaciones ambientales en el sistema interconectado de redes eléctricas como descargas atmosféricas y cargas no lineales (Ozgonenel et al., 2013). Estas perturbaciones se producen en el orden de los microsegundos y pueden causar desviación de tensión, de corriente o de frecuencia, provocando

un mal funcionamiento en los dispositivos de uso final como: pérdida de datos, funcionamiento errático de controles electrónicos, pérdidas en producción empresarial y deterioro de la economía o el bienestar de los usuarios finales.

## **2.2. Importancia actual**

En la actualidad, el enfoque de los problemas en calidad de energía se ha convertido en uno de los temas más importantes en los sistemas de generación debido a la rápida industrialización y al uso extensivo de cargas no lineales que provocan distorsión a la red de corriente alterna (Arya & Singh, 2014).

De acuerdo a normativas internacionales, se debe realizar un nuevo diseño para los dispositivos de detección de calidad de energía basado en los sistemas embebidos industriales que poseen rápida velocidad de cálculo, alta tasa de almacenamiento, precisión y una gran estabilidad incondicional en el sistema de control. Mediante estos controles se obtienen beneficios económicos para las empresas, logrando un aumento en la competitividad y confiabilidad, mediante la optimización de su proceso productivo (Junfeng et al., 2012).

Por otro lado el aumento de los equipos de automatización incrementan los problemas de confiabilidad en las líneas de producción, siendo estos equipos electrónicos una fuente de perturbaciones para la calidad de energía eléctrica debido a su producción de distorsiones en las ondas de tensión y corriente (De Battista, 2000).

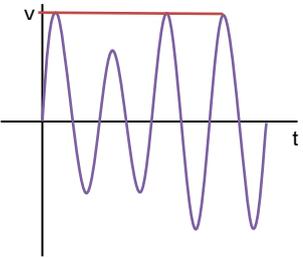
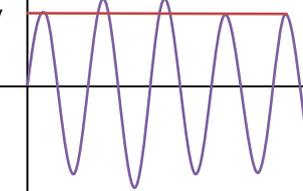
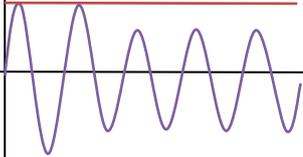
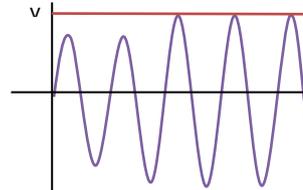
Tomando en cuenta lo anterior, se han desarrollado sistemas inteligentes de monitoreo de redes eléctricas que permiten resolver problemas como: huecos de tensión, apagones, sobrecargas, redes obsoletas, etc. (Fadaeenejad et al., 2014).

## **2.3. Características de los fenómenos electromagnéticos**

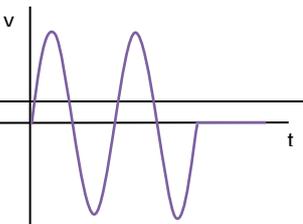
A continuación se describen los fenómenos electromagnéticos que afectan a un punto determinado de la red eléctrica. La Tabla 1 presenta los fenómenos en régimen permanente, considerando las caídas de voltaje, elevaciones de voltaje, bajo voltaje y sobre voltaje.

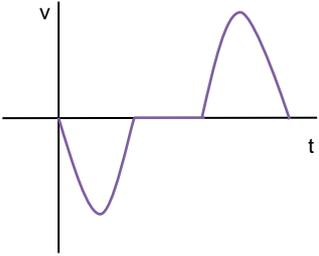
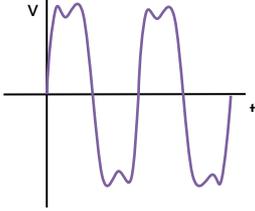
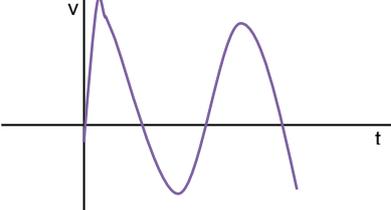
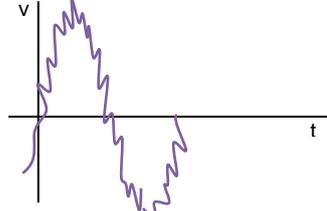
En la Tabla 2 se pueden ver la descripción de los fenómenos en régimen transitorio: interrupciones, armónicos, flickers, ruido y transitorios.

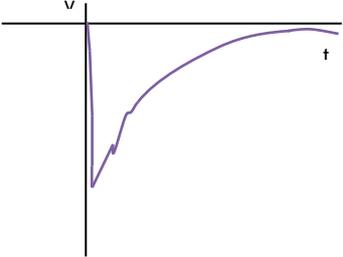
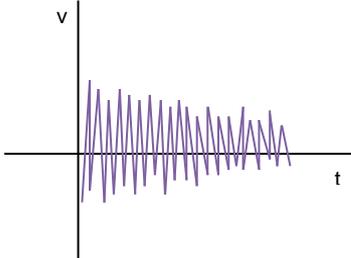
**Tabla 1.** Fenómenos electromagnéticos en régimen permanente

Fenómeno	Descripción	Figura
<b>Caída de voltaje</b>	<p>Las caídas de voltaje son los fenómenos comunes en los últimos años (SAG o DIP en inglés). Se define como una reducción en el nivel normal de tensión entre el 10 y 90% del voltaje p.u con una duración aproximada de 0.5 ciclos a 1 minuto (Almeida et al., 1992).</p> <p>Estos fenómenos pueden ser causados por la conexión o puesta en servicio de grandes cargas, arranque de motores o por fallas en el sistema de distribución o transmisión en la red. Los daños causados por estas caídas de voltaje están relacionados principalmente a procesos interrumpidos, los cuales pueden ocasionar pérdidas económicas altas en el sector industrial (Barrantes, 2007) (Fischer, 1989).</p>	 <p><b>Figura 1.</b> Caída de voltaje</p> <p>Fuente: (Ramírez &amp; Cano, 2006)</p>
<b>Elevaciones de voltaje</b>	<p>Estos fenómenos son menos frecuentes que las caídas de voltaje, son incrementos momentáneos en el valor efectivo de voltaje p.u. y están fuera de las tolerancias normales de cada sistema del valor nominal. Pueden durar de medio ciclo hasta 1 minuto. Generalmente son causados al conectar y desconectar grandes cargas o bancos de condensadores (Barrantes, 2007).</p>	 <p><b>Figura 2.</b> Elevaciones de voltaje</p> <p>Fuente: Adaptado (Ramírez &amp; Cano, 2006)</p>
<b>Bajo voltaje</b>	<p>Las caídas de voltaje son fenómenos comunes en los últimos años. Éstas se definen como una reducción en el nivel normal de tensión entre el 10 y 90% del voltaje. Su duración es de más de un minuto (Barrantes, 2007).</p>	 <p><b>Figura 3.</b> Bajo voltaje</p> <p>Fuente: Adaptado de (Ramírez &amp; Cano, 2006)</p>
<b>Sobrevoltaje</b>	<p>Es un incremento del voltaje por encima de la tolerancia del valor p.u. sobre el 110% del valor nominal y dura más de un minuto. (Almeida et al., 1992)</p>	 <p><b>Figura 4.</b> Sobre voltaje</p> <p>Fuente: Adaptado de (Ramírez &amp; Cano, 2006)</p>

**Tabla 2.** Fenómenos electromagnéticos en régimen transitorio

Fenómeno	Descripción	Figura
<b>Interrupciones</b>	<p>Las interrupciones son clasificadas según su duración en:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Cortas o momentáneas</li> </ul>	

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sostenidas o de larga duración</li> </ul> <p>Interrupciones cortas, son interrupciones del suministro de energía, ocurren cuando la tensión de alimentación cae a menos de 0,1 p.u. (menos del 10% del valor nominal) para un tiempo menor a un minuto.</p> <p>Son causadas por fallas: en el sistema de potencia, equipos, aislamiento y descargas eléctricas.</p> <p>Las interrupciones sostenidas son interrupciones del suministro de energía, ocurren cuando la tensión de alimentación cae a menos del 10% del valor nominal, para un tiempo mayor a un minuto. Suelen necesitar de la intervención humana para restaurar el suministro.</p> <p>Son causadas por fallas en la red eléctrica, tormentas, fuego o fallas en los sistemas de protección de los dispositivos o por las operaciones en las subestaciones (Barrantes, 2007).</p>	<p>Fuente: Adaptado de (Ramírez &amp; Cano, 2006)</p>  <p><b>Figura 6.</b> Interrupciones</p> <p>Fuente: Adaptado de (Ramírez &amp; Cano, 2006)</p>
<p><b>Armónicos</b></p>	<p>Provocan deformación en las ondas de voltaje y corriente en el tiempo, es decir no es una onda sinusoidal perfecta. Alteran el valor pico de voltaje y causan mal funcionamiento en los equipos que estén conectados a la red (Almeida et al., 1992).</p> <p>Esta distorsión armónica se produce por la conexión de cargas no lineales a la red eléctrica, tales como: motores, variadores de velocidad, hornos eléctricos, excitadores de frecuencia variable, fuentes de poder lineal, rectificadores con filtros capacitivos, balastos electrónicos, entre otros (Balcells, 2001).</p>	 <p><b>Figura 5.</b> Armónicos</p> <p>Fuente: Adaptado de (Balcells, 2001)</p>
<p><b>Flickers</b></p>	<p>Llamado también rápidos cambios de tensión, este fenómeno es relacionado con variaciones de frecuencia. Es visible al ojo humano debido a la fluctuación en el sistema de iluminación (Al-Hamadi, 2012) (Ramírez &amp; Cano, 2006).</p>	 <p><b>Figura 6.</b> Flickers</p> <p>Fuente: Adaptado de (Al-Hamadi, 2012)</p>
<p><b>Ruido</b></p>	<p>El ruido es una distorsión de alta frecuencia, que afecta en la forma de onda del voltaje. Es ocasionado por interferencias electromagnéticas como: microondas, televisión, soldadoras eléctricas, cajas de conmutación, equipos de telefonía celular y demás dispositivos electrónicos.</p>	

	<p>Los daños que provoca el ruido son principalmente pérdidas de información y errores de procesamiento de datos (Ramírez &amp; Cano, 2006).</p>	<p><b>Figura 7. Ruido</b></p> <p>Fuente: Adaptado de (Cidras &amp; Carrillo, 2010)</p>
<p><b>Transitorios</b></p>	<p>Un transitorio es un cambio en la forma de onda sinusoidal y su duración está en el rango desde los microsegundos hasta 5 milisegundos. (La &amp; La, 2010.)</p> <p>Se los clasifica en dos tipos de Transitorios: de impulso y oscilatorios.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Transitorio por impulso, es una rápida elevación con suave caída, tiene un rango de duración en los microsegundos. Se le llama pico si se adiciona a la onda seno.</li> <li>• Transitorio oscilatorio, produce una elevación rápida pero cae con oscilaciones exponenciales, cuyos valores cambian rápidamente de polaridad. Puede durar un ciclo o más, su frecuencia puede variar entre (500 KHz – 5 MHz). (Melhorn &amp; McGranaghan, 1995)</li> </ul>	 <p><b>Figura 8. Transitorio por impulso</b></p> <p>Fuente: Adaptado de (Almeida et al., 1992).</p>  <p><b>Figura 9. Transitorio</b></p> <p>Fuente: Adaptado de (Barrantes, 2007)</p>

## 2.4. Calidad de energía en parques eólicos

Debido al creciente incremento de la energía eólica, el análisis y la modelación de los parques eólicos son esenciales para la estabilidad y la respuesta dinámica de los sistemas de energía. Los parques eólicos tienen diferentes impactos y funciones en el rendimiento de los sistemas eléctricos debido a la variación de la velocidad del viento en el tiempo. Se han utilizado diferentes técnicas y modelos para la determinación de estos problemas, y los impactos del parque eólico en la calidad de energía y en las redes de distribución (Mutlu et al., 2009).

En la actualidad, un número cada vez mayor de parques eólicos de pequeña potencia se utilizan como fuentes de generación distribuida y estas se conectan a los sistemas de distribución generales de cada país. La naturaleza intermitente y volátil de generación de energía eólica puede

afectar los voltajes del sistema de distribución, frecuencia y adecuación de la generación, por lo que los parámetros eléctricos de la red de distribución tienen que ser mantenidos.

Cuando la penetración de la energía eólica es alta, el control de voltaje en el sistema de distribución se vuelve particularmente importante (Chavan, 2013). En muchos países, los nuevos códigos de red establecidos exigen que los parques eólicos incorporen generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG) para que participen activamente en la mejora de control de voltaje en el sistema de distribución (Zhao et al., 2010).

Las investigaciones en análisis de calidad de energía en parques eólicos presentan novedosos controles, con el propósito de mitigar las emisiones de parpadeo (flickers) de los generadores de inducción doblemente alimentados. La estrategia de control que presentan se basa en un sistema de control que está compuesto por dos controladores en cascada, un control de parques eólicos y un controlador en la turbina de viento local (Perera et al., 2014), (Bystryk & Sullivan, 2011).

El control del parque eólico se adapta a los consumos de la red de distribución y genera la potencia reactiva mínima que permite suavizar las variaciones rápidas de la producción de energía eólica. En este sentido, el control del parque eólico facilita la integración en las redes eléctricas débiles mediante el intercambio de potencia reactiva con la red. Por otra parte, este tipo de controlador posee las características para dar estabilidad, rapidez y robustez en el despacho del parque eólico, este tipo de control garantiza que la turbina de viento local pueda cambiar y controlar el punto de ajuste de la potencia reactiva con la red (Girbau et al., 2014).

Para lograr una mejor respuesta del parque se utiliza la teoría del control robusto, la cual maneja el diseño de sistemas de control dinámicos que poseen incertidumbres en sus modelos, se dice que un sistema es robusto para un determinado conjunto de incertidumbres si proporciona solidez y un adecuado rendimiento para los modelos integrales del sistema. De esta forma podemos disminuir las perturbaciones del sistema y conectar hacia el sistema interconectado la producción de energía de las turbinas de viento (Olamaei et al., 2012), (Boutoubat et al., 2013).

En las turbinas de viento, los parpadeos pueden ser causados por operaciones de conmutación y por las fluctuaciones de la potencia activa y / o reactiva en la operación continua (Attya & Hartkopf, 2013)

Las mediciones de flicker según la norma 61400-21 deben ser realizadas, en una simulación en una red aislada al sistema nacional interconectado, con el fin de poder determinar las características del fenómeno (Tascikaraoglu et al., 2011).

Las centrales eólicas modernas tales como generadores de inducción doblemente alimentados (DFIGs) han demostrado capacidades de potencia reactiva que les permiten operar en diversos

modos como: el control de factor de potencia y la operación de control de tensión (Fadaeenejad et al., 2014), (Mansouri et al., 2004).

En el futuro, será necesario utilizar diferentes estrategias de control con el fin de prestar servicios auxiliares tales como: soporte de potencia reactiva y control en el voltaje del sistema a la red de energía, existen escasos estudios sobre el impacto en la emisión de parpadeo cuando las centrales de energía eólica están operando bajo este tipo de estrategias de control, solo existe un conocimiento global sobre la propagación de parpadeo y atenuación en las redes, esencialmente relacionada con cargas fluctuantes, donde los flujos de potencia activa y reactiva son unidireccionales, es decir, aguas arriba a aguas abajo (Gupta et al., 2014).

En las redes de distribución con la generación integrada, el flujo de potencia activa y reactiva podría llegar a ser bidireccional. Por otra parte, las cargas conectadas en este tipo de redes también pueden influir en la propagación de parpadeo y atenuación (Al-Hamadi, 2012).

Al conectar un parque eólico a la red se producen distorsiones conocidas como armónicos que pueden afectar en la potencia activa, esto se debe principalmente a la utilización de convertidores de onda AC a DC y de DC a AC en las turbinas eólicas (Arya & Singh, 2014). Con el fin de mitigar la generación de armónicos se utilizan filtros en el sistema de conversión de onda de la máquina eólica, además un sistema de monitoreo a la salida de cada transformador permite realizar un estudio de la variación de la onda de corriente y voltaje (Jadán & Calle, 2009).

Los armónicos se presentan independientemente de la capacidad de producción que tenga el o los aerogeneradores conectados a la red, sin embargo tienden a aumentar debido a interarmónicos que caracterizan a los armónicos. Al incrementar la producción de potencia de un aerogenerador, el total de interarmónicos también aumenta. Los armónicos no dependen de la potencia activa de producción, mientras que los interarmónicos tienen una relación de dependencia con la potencia activa de producción (Yang et al., 2014), (Yeh & Huang, 2014).

## **2.5. Ráfagas de viento**

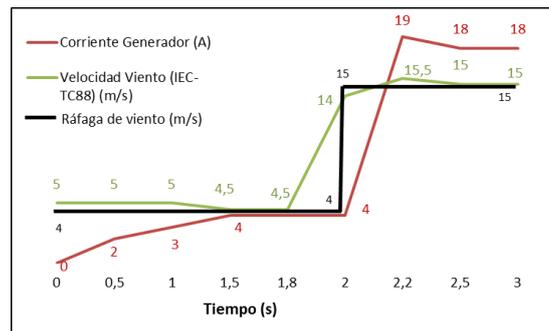
La calidad de energía en generadores eólicos se ve afectada por el comportamiento y características del viento. Mediante el modelamiento de ráfagas frontales de viento, aplicado al comportamiento de las diferentes estructuras de un aerogenerador, se determina que los efectos dinámicos en estos tienen una mayor frecuencia de influencia con relación a los efectos cinemáticos causados por las diferentes capas de viento (Kun et al., 2012), (Morsi & El-Hawary, 2011).

Los modelos de ráfaga de viento se basan en la norma IEC-TC88 (Cheng & Bierbooms, 2001), en la que se establecen propiedades estocásticas para forma y duración de la ráfaga; por lo tanto con

una simulación sobre un aerogenerador se obtiene una estimación mínima y máxima de operación y control (Dicorato et al., 2012).

## 2.6. Generador sincrónico bajo influencia de una ráfaga

Para el estudio de una turbina eólica que incluye un generador sincrónico con imanes permanentes, se determinó su comportamiento utilizando el modelo matemático *Skystream* (Li & Li, 2012), (Cultura & Ziyad, 2012), y para la simulación de la ráfaga de viento se utilizó la función escalón, con lo cual visualiza el comportamiento de la potencia en función de la corriente y voltaje en la salida del generador.



**Figura 12.** Simulación de un generador sincrónico ante una ráfaga de viento  
**Fuente:** Modificado de (Cultura & Ziyad, 2012)

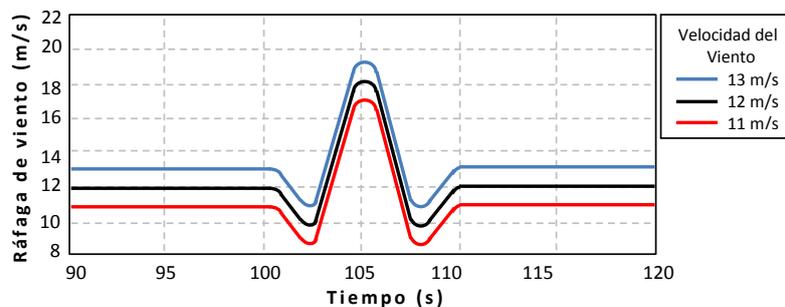
En la Figura 12 se observa que la velocidad del viento es constante en 4 m/s y al introducir la función escalón, ésta se incrementa a 15 m/s, la corriente aumenta linealmente de 4 a 19 amperios en 0,2 segundos y se estabiliza en 18 amperios en un periodo de 1 segundo; el voltaje de salida en el generador permanece constante debido al inversor instalado en este tipo de dispositivos.

Las pérdidas generadas por el efecto de las ráfagas de viento, crean un impacto significativo en la potencia de salida de los aerogeneradores, afectando la producción total de las turbinas de viento; el incremento de pérdidas es directamente proporcional con la turbulencia del viento en turbinas de baja potencia (Kuenzel & Bikash, 2014). Las simulaciones de la curva de potencia se basan en la norma IEC 61400-12-1, donde se desprecia el impacto de la turbulencia sobre las turbinas (Lubitz, 2014), (Pourrajabian et al., 2014).

## 2.7. Influencia de las ráfagas de viento sobre generadores de inducción doblemente alimentados

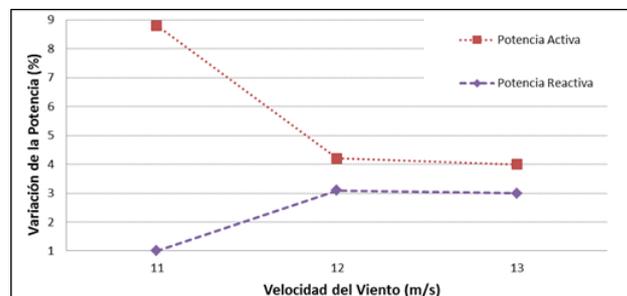
El parque eólico en Golfo El Zayt (Egipto) tiene una potencia instalada de 120 MW con generadores de inducción doblemente alimentados (DFIG). El funcionamiento de estas máquinas se basa en: “el giro del rotor a una frecuencia diferente que la frecuencia de red” (Noureldeen & Rashad, 2013), obteniendo la máxima potencia frente a una velocidad variable del viento, logrando controlar la potencia activa y reactiva de forma independiente.

Noureldeen y Rashad realizaron una simulación del parque Zayt y analizaron la estabilidad para diferentes condiciones de ráfagas de viento. La variación de la velocidad de la ráfaga se simuló en tres diferentes condiciones de viento; las velocidades promedio son de 11 12 y 13 m/s; el valor nominal en esta simulación es de 12 m/s. Como se muestran en la Figura 13. Las ráfagas de viento tendrán un pico máximo de 6 m/s sobre las velocidades (Noureldeen & Rashad, 2013).



**Figura 13.** Simulación del viento y presencia de una ráfaga  
**Fuente:** Modificado de (Noureldeen & Rashad, 2013).

Esta simulación establece el comportamiento de los aerogeneradores frente a una ráfaga de viento (Figura 13), determinando la relación inversamente proporcional entre la potencia activa y la potencia reactiva acorde al incremento de la velocidad del viento, como se muestra en la Figura 14.



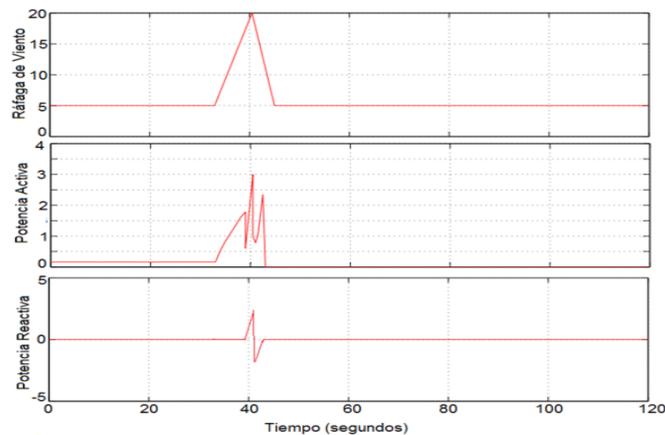
**Figura 14.** Variación de la potencia activa y reactiva frente a una ráfaga  
**Fuente:** Modificado de (Noureldeen & Rashad, 2013).

## 2.8. Cortocircuitos en aerogeneradores en presencia de ráfagas de viento

El cortocircuito en parques eólicos puede presentarse cuando una ráfaga de viento atraviesa el aerogenerador ocasionando inestabilidad y disminuyendo la confiabilidad del parque; las protecciones eléctricas juegan un rol importante en la estabilidad del sistema al realizar la desconexión del sistema eléctrico (Rocha, 2011).

En un estudio realizado en el parque eólico en las islas de Cabo Verde se determinó el comportamiento de las potencias de un aerogenerador ante el corto circuito producido por una ráfaga de viento (Teixeira et al., 2011), (Zeng et al., 2012). El perfil del comportamiento de la velocidad de viento se basa en la recolección de datos de las diferentes estaciones

meteorológicas instaladas del parque; la simulación se basa en la introducción de una ráfaga de viento sobre una velocidad promedio de 5 m/s, alcanzando una velocidad máxima de 20 m/s como se muestra en la Figura 14.



**Figura 15.** Modelo de ráfaga de viento.  
Fuente: Modificado de (Teixeira et al., 2011).

La respuesta obtenida de la simulación determina que la potencia activa sufre un incremento con respecto a la potencia nominal por presencia de la ráfaga de viento, la potencia reactiva permanece constante; en el instante en el que se presenta un corto circuito las potencias sufren oscilaciones, actuando las protecciones y despejando la falla, como se muestra en la Figura 15.

## 2.9. Fenómenos de régimen permanente en parques eólicos

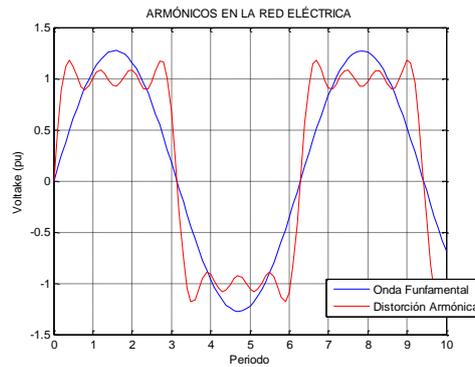
Para analizar la calidad de energía en generadores eólicos se analiza el comportamiento de algunos fenómenos en régimen transitorio como: armónicos, flicker, ferroresonancia, agujeros de tensión, micro-cortes y transitorios de conexión.

### 2.9.1. Armónicos

Los aerogeneradores no están exentos de tener distorsión armónica de voltaje y corriente, en estos dispositivos el fenómeno se presenta por diversos aspectos tales como: saturación en los transformadores, operaciones en la subestaciones, conexiones de cargas no lineales a la red entre otros (Kesraoui et al., 2014).

Los aerogeneradores dependen del comportamiento del viento, para mantener constante el voltaje en la salida se utilizan inversores, que producen armónicos por la operación de los tiristores; estos equipos disponen de un sistema de filtros para controlar y suprimir estos niveles de armónicos, logrando controlar la frecuencia natural (Gimenez & Gómez, 2011), (De Battista, 2000).

Los armónicos se representan por la distorsión armónica total (THD), y están estandarizados bajo la norma IEC 61000-3-6 (Kesraoui et al., 2014). En la Figura 16 se muestra la distorsión que generan los armónicos sobre la onda de voltaje que entrega el aerogenerador (Arcila, 2012).

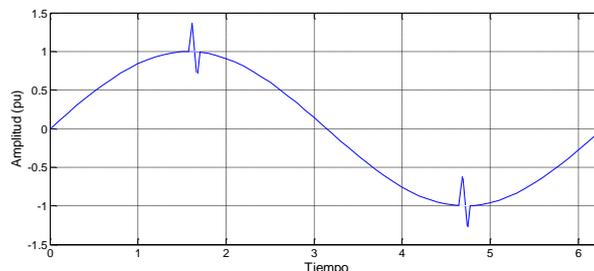


**Figura 16.** Armónicos en la Red  
**Fuente:** Modificada de (Kesraoui et al., 2014)

### 2.9.2. Flicker

Analizando la presencia de flickers en aerogeneradores, se determinó que la distorsión es provocada a la conexión de una máquina eléctrica en la red, generando sobre corriente a la red de corta duración. La estandarización de los flicker fue realizada por la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) descrita en la norma IEC 61000-4-15 (Ignacio, 2010), (Chavan, 2013).

Los flickers de régimen permanente presentes en turbinas eólicas, son causados por ráfagas de viento variando la velocidad en los aerogeneradores, por lo tanto este fenómeno no puede ser compensado ni controlado en su totalidad por el sistema de control, como se muestra en la Figura 17. La mitigación de flickers mecánicamente se puede realizar con el incremento en el diámetro de las palas (Girbau et al., 2014).



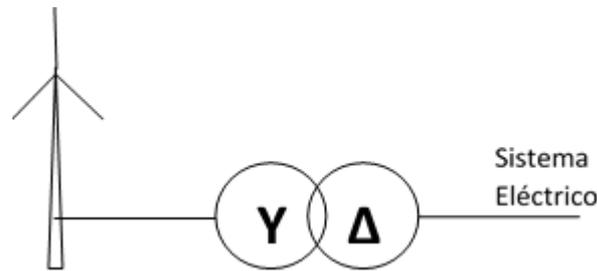
**Figura 17.** Fluctuación voltaje sinusoidal  
**Fuente:** Modificada de (Ignacio, 2010).

### 2.9.3. Ferroresonancia

En los parques eólicos existe la necesidad de elevar el voltaje a los niveles de los sistemas eléctricos interconectados, esto ocasiona la utilización de transformadores elevadores de voltaje a través de una conexión estrella-triángulo como se muestra en la Figura 18 (Gimenez & Gómez, 2011).

El fenómeno de ferroresonancia es el resultado de la capacitancia parasita de los cables aguas abajo del transformador y de su inductancia primaria, afectando a la excitación de un transformador o de inductancias, mediante la conexión en serie de capacitancias; esto se

encuentra especificado en la norma ANSI/IEEE Std 100-1984 (Hassan et al., 2011) (Kuenzel & Bikash, 2014).



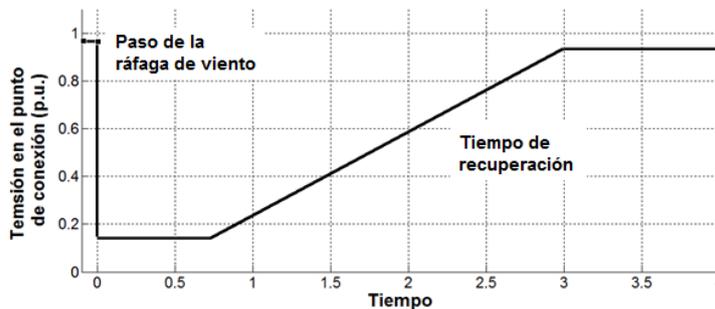
**Figura 18.** Conexión de aerogeneradores a la red

## 2.10. Fenómenos de régimen transitorio

### 2.10.1. Huecos de tensión

Los huecos de tensión son fenómenos transitorios que se presentan en todos los tipos de generación eléctrica y en la industria eólica no es la excepción. Este fenómeno se caracteriza por una reducción brusca de la tensión y un tiempo de recuperación como se muestra en la Figura 19. En un parque eólico se puede presentar después del paso de una ráfaga de viento (Gimenez & Gómez, 2011).

Los huecos de tensión se presentan en una o dos de las fases, generan oscilaciones en el rotor de la turbina causando el paro abrupto del aerogenerador (Jiménez, Gómez-Lázaro, Fuentes, Molina-García, & Viguera-Rodríguez, 2013).



**Figura 19.** Huecos de voltaje en generación de electricidad mediante turbinas eólicas.

**Fuente:** Modificada de (Gimenez & Gómez, 2011)

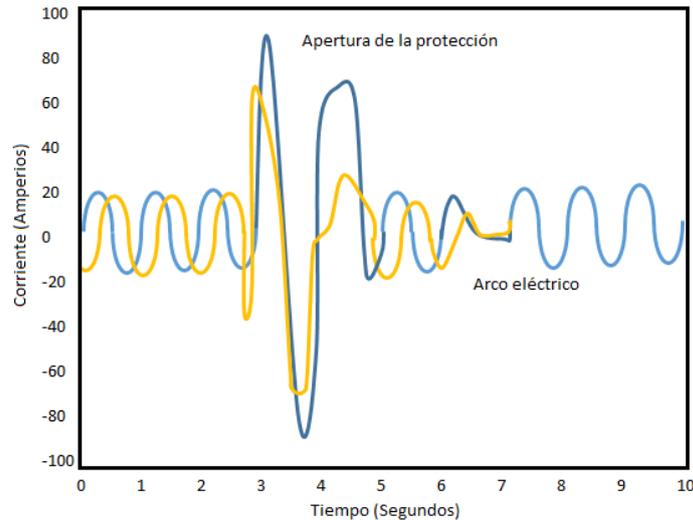
### 2.10.2. Transitorios de conexión

#### Micro cortes

Los micro cortes de voltaje son fenómenos transitorios que se generan por la velocidad de operación de los dispositivos de maniobra como por ejemplo interruptores y re-conectores en la subestación de la central eólica, los cuales generan picos o huecos de tensión con una duración de micros segundos como se muestra en la Figura 20; (Gimenez & Gómez, 2011), estos afectan a la calidad de energía causando deformidad de la onda.

Existen otros fenómenos transitorios que afectan a los parques eólicos como:

- Corriente de cortocircuito: Se caracteriza por sus perturbaciones al presentarse una falla en el sistema.
- Sobre-intensidad: Se genera en la red por conexión del generador eólico.
- Compensación capacitiva: Se presenta cuando se mejora el factor de potencia del parque eólico (Gimenez & Gómez, 2011).



**Figura 20.** Forma de onda de Sobre-corriente  
**Fuente:** Modificada de (Gimenez & Gómez, 2011)

### 3. Discusión

La eficiencia de los parques eólicos se ve afectada por diversos factores entre los más significativos se destacan: maniobras en subestaciones y factores climáticos; la generación de energía en un parque eólico no es constante, esto influye directamente en la calidad de energía reduciendo la eficiencia.

Es oportuno realizar un estudio de calidad de energía en los parques eólicos, con el fin de verificar el correcto comportamiento del parque y obtener resultados que puedan ser utilizados como referencias en próximas centrales eólicas a instalarse.

Es necesario realizar un análisis de calidad de energía en parques eólicos que presenten condiciones atípicas de instalación como los parques instalados sobre los 2200 msnm.

### 4. Conclusiones

Existen pocos estudios de calidad de energía realizados en parques eólicos. En muchos casos los resultados no fueron utilizados, por lo que es importante realizar nuevas auditorías con sus respectivas aplicaciones prácticas.

La calidad de energía en parques eólicos se ha convertido en un tema de gran interés para muchos investigadores por dos factores: el económico al ser una de las fuentes de energía renovable con más aceptación que las demás y por la variabilidad que existe en la potencia al estar directamente relacionada con el viento.

El monitoreo constante de la calidad de energía en los sistemas eléctricos y el análisis minucioso de estos datos, ofrece un alto potencial para mejorar los procesos de producción y distribución de la energía.

Los análisis de calidad de energía permiten desarrollar mapas de estrategias de control, evitando pérdidas económicas a niveles de transmisión y distribución mediante la actualización de estos sistemas.

Los fenómenos producidos en cuanto a calidad de energía en un parque eólico, se generan por dos causas relevantes: la variación del viento y los dispositivos de electrónica de potencia que conforman el aerogenerador. Estos fenómenos aunque no pueden ser eliminados si pueden ser controlados para que se mantengan dentro de los límites establecidos en la ley del país o de acuerdo a las normas internacionales.

El paso de una ráfaga de viento por más corta duración que presente, afecta al aerogenerador ocasionando una disminución en la calidad de energía, su estructura mecánica también se ve involucrada.

La forma más sencilla para la simulación de una ráfaga de viento en un aerogenerador es mediante el uso de la función escalón, la cual es efectiva cuando se delimitan los rangos de estudio de la velocidad. Para obtener resultados más precisos se debe implementar un modelo con datos meteorológicos y de operación del parque.

Si la ráfaga de viento supera el valor máximo de velocidad descrita en la curva de potencia del aerogenerador, causa una desconexión afectando a la calidad de energía de todo el parque.

Una ráfaga de viento no involucra a todo el parque, ésta es puntual en algunos aerogeneradores, por lo tanto la calidad de energía que se extrae de uno o varios, se suma a la de los demás en la subestación más cercana.

En granjas eólicas la ráfaga de viento influye directamente en la primera fila de los aerogeneradores, por efecto de las estelas, éstas afectan indirectamente a los aerogeneradores de las siguientes filas.

## Bibliografía

- Al-Hamadi, H. M. (2012). Fuzzy logic voltage flicker estimation using Kalman filter. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 36(1), 60–67.  
doi:10.1016/j.ijepes.2011.10.024
- Almeida, A. De, Delgado, L. M. J., & Quality, P. (1992). Power Quality Problems and New Solutions.
- Arcila, J. (2012). Armónicos en sistemas eléctricos, 1–26.
- Arya, S. R., & Singh, B. (2014). Power quality improvement under nonideal AC mains in distribution system. *Electric Power Systems Research*, 106, 86–94.  
doi:10.1016/j.epsr.2013.08.008
- Attya, a. B., & Hartkopf, T. (2013). Wind farms dispatching to manage the activation of frequency support algorithms embedded in connected wind turbines. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 53, 923–936. doi:10.1016/j.ijepes.2013.06.011
- Balcells, J. (2001). Calidad de la red eléctrica: ¿como medirla?, 22–26.
- Barrantes, I. (2007). Elaboración de una guía práctica para la evaluación de la calidad de energía dentro de C.N.F.L.
- Boutoubat, M., Mokrani, L., & Machmoum, M. (2013). Control of a wind energy conversion system equipped by a DFIG for active power generation and power quality improvement. *Renewable Energy*, 50, 378–386. doi:10.1016/j.renene.2012.06.058
- Bystryk, J., & Sullivan, P. E. (2011). Small wind turbine power control in intermittent wind gusts. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 99(5), 624–637.  
doi:10.1016/j.jweia.2011.03.001
- Chavan, D. (2013). Efect of vertical winds hear on flicker in wind farm, 203–208.
- Cheng, P. ., & Bierbooms, W. A. A. . (2001). Distribution of extreme gust loads of wind turbines. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 89(3-4), 309–324.  
doi:10.1016/S0167-6105(00)00084-2
- Cidras, J., & Carrillo, C. (2010). El fenómeno del parpadeo., 1–14.

- Cultura, A., & Ziyad, S. (2012). Dynamic Response of a Skystream Wind Turbine to a Wind gust, 1061–1066.
- De Battista, H. (2000). Control de la calidad de potencia en sistemas de conversión de energía eólica.
- Dicorato, M., Forte, G., & Trovato, M. (2012). Wind farm stability analysis in the presence of variable-speed generators. *Energy*, 39(1), 40–47. doi:10.1016/j.energy.2011.11.050
- Fadaeenejad, M., Saberian, a. M., Fadaee, M., Radzi, M. a. M., Hizam, H., & AbKadir, M. Z. a. (2014). The present and future of smart power grid in developing countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 828–834. doi:10.1016/j.rser.2013.08.072
- Fischer, F. (1989). Voltage Dip-Proofing Voltage Dip-Proofing.
- Gimenez, J., & Gómez, C. (2011). Wind generation using different generators considering their impact on power system, 169, 95–104.
- Girbau, F., Sumper, A., Díaz, F., & Galceran, S. (2014). Flicker mitigation by reactive power control in wind farm with doubly fed induction generators. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 55, 285–296. doi:10.1016/j.ijepes.2013.09.016
- Gupta, N., Swarnkar, A., & Niazi, K. R. (2014). Distribution network reconfiguration for power quality and reliability improvement using Genetic Algorithms. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 54, 664–671. doi:10.1016/j.ijepes.2013.08.016
- Hassan, S., Vaziri, M., & Vadhva, S. (2011). Review of ferroresonance in power distribution grids. *Information Reuse and Integration (IRI), 2011 IEEE International Conference on*, 444 – 448.
- Ignacio, A. (2010). Evaluación de la emisió de flicker causada por aerogeradores conectados a la red eléctrica Uruguaya de 150kv.
- Jadán, S., & Calle, S. (2009). Análisis de la calidad de la energía eléctric a y estudio de carga de la Universidad Politécnica Salesiana Sede Cuenca, 1–34. Retrieved from <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/75>
- Jiménez, F., Gómez-Lázaro, E., Fuentes, J. A., Molina-García, A., & Viguera-Rodríguez, A. (2013). Validation of a DFIG wind turbine model submitted to two-phase voltage dips following the Spanish grid code. *Renewable Energy*, 57, 27–34. doi:10.1016/j.renene.2012.12.032

- Junfeng, H., Hao, S., & Xiaolin, W. (2012). Design of Power Quality Monitor Based on Embedded Industrial Computer. *Physics Procedia*, 24, 63–69. doi:10.1016/j.phpro.2012.02.011
- Kesraoui, M., Chaib, a., Meziane, a., & Boulezaz, a. (2014). Using a DFIG based wind turbine for grid current harmonics filtering. *Energy Conversion and Management*, 78, 968–975. doi:10.1016/j.enconman.2013.07.090
- Kuenzel, S., & Bikash, P. (2014). Impact of Wakes on Wind Farm Inertial Response. *IEEE TRANSACTIONS ON SUSTAINABLE ENERGY*, 5(1), 237–245.
- Kun, D., Kareem, A., & Butler, K. (2012). Journal of Wind Engineering Gust-front loading effects on wind turbine tower systems. *Jnl. of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 104-106, 109–115. doi:10.1016/j.jweia.2012.03.030
- Li, Y., & Li, H. (2012). The Impact of Wind Characteristics on the Wind Turbine Generator. *2012 Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference*, 1–4. doi:10.1109/APPEEC.2012.6307112
- Llamas, A., & De los Reyes, J. (2010). Instrumentación para determinar la calidad del suministro eléctrico, *52(81)*, 1–9.
- Lubitz, W. D. (2014). Impact of ambient turbulence on performance of a small wind turbine. *Renewable Energy*, 61, 69–73. doi:10.1016/j.renene.2012.08.015
- Mansouri, M. N., Mimouni, M. F., Benghanem, B., & Annabi, M. (2004). Simulation model for wind turbine with asynchronous generator interconnected to the electric network. *Renewable Energy*, 29(3), 421–431. doi:10.1016/S0960-1481(03)00225-8
- Melhorn, C. J., & McGranaghan, M. F. (1995). Interpretation and analysis of power quality measurements. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 31(6), 1363–1370. doi:10.1109/28.475727
- Morsi, W. G., & El-Hawary, M. E. (2011). Power quality evaluation in smart grids considering modern distortion in electric power systems. *Electric Power Systems Research*, 81(5), 1117–1123. doi:10.1016/j.epsr.2010.12.013
- Mutlu, Ö. S., Akpınar, E., & Balıkcı, A. (2009). Power quality analysis of wind farm connected to Alaçatı substation in Turkey. *Renewable Energy*, 34(5), 1312–1318. doi:10.1016/j.renene.2008.09.012

- Noureldeen, O., & Rashad, A. (2013). Modeling and investigation of Gulf El-Zayt wind farm for stability studying during extreme gust wind occurrence. *Ain Shams Engineering Journal*, 5(1), 137–148. doi:10.1016/j.asej.2013.09.011
- Olamaei, J., Javan, J., Yavartalab, a., & Khederzadeh, M. (2012). Advanced Control of FACTS Devices for Improving Power Quality Regarding to Wind Farms. *Energy Procedia*, 14, 298–303. doi:10.1016/j.egypro.2011.12.933
- Ozgonenel, O., Yalcin, T., Guney, I., & Kurt, U. (2013). A new classification for power quality events in distribution systems. *Electric Power Systems Research*, 95, 192–199. doi:10.1016/j.epsr.2012.09.007
- Perera, D., Meegahapola, L., Perera, S., & Ciufu, P. (2014). Characterisation of flicker emission and propagation in distribution networks with bi-directional power flows. *Renewable Energy*, 63, 172–180. doi:10.1016/j.renene.2013.09.007
- Pourrajabian, A., Mirzaei, M., Ebrahimi, R., & Wood, D. (2014). Effect of air density on the performance of a small wind turbine blade: A case study in Iran. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 126, 1–10. doi:10.1016/j.jweia.2014.01.001
- Ramírez, S., & Cano, E. (2006). *Calidad del Servicio de Energía Eléctrica*.
- Rocha, R. (2011). A sensorless control for a variable speed wind turbine operating at partial load. *Renewable Energy*, 36(1), 132–141. doi:10.1016/j.renene.2010.06.008
- Saini, M. K., & Kapoor, R. (2012). Classification of power quality events – A review. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, 43(1), 11–19. doi:10.1016/j.ijepes.2012.04.045
- Tascikaraoglu, a., Uzunoglu, M., Vural, B., & Erdinc, O. (2011). Power quality assessment of wind turbines and comparison with conventional legal regulations: A case study in Turkey. *Applied Energy*, 88(5), 1864–1872. doi:10.1016/j.apenergy.2010.12.001
- Teixeira, L., Zhang, Y., & Kang, Y. (2011). Stability analysis of power system in cape verde with wind power under wind gust and short circuit fault. *2011 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT)*, 1072–1075. doi:10.1109/DRPT.2011.5994054
- Yang, K., Bollen, M. H. J., Larsson, E. O. A., & Wahlberg, M. (2014). Measurements of harmonic emission versus active power from wind turbines. *Electric Power Systems Research*, 108, 304–314. doi:10.1016/j.epsr.2013.11.025

- Yeh, T.-M., & Huang, Y.-L. (2014). Factors in determining wind farm location: Integrating GQM, fuzzy DEMATEL, and ANP. *Renewable Energy*, 66, 159–169.  
doi:10.1016/j.renene.2013.12.003
- Zeng, X., Tao, J., Zhang, P., Pan, H., & Wang, Y. (2012). Reactive Power Optimization of Wind Farm based on Improved Genetic Algorithm. *Energy Procedia*, 14, 1362–1367.  
doi:10.1016/j.egypro.2011.12.1102
- Zhao, J., Li, X., Hao, J., & Lu, J. (2010). Reactive power control of wind farm made up with doubly fed induction generators in distribution system. *Electric Power Systems Research*, 80(6), 698–706. doi:10.1016/j.epsr.2009.10.036

## Comparación de algoritmos de máquinas de aprendizaje para la detección de arrecife de coral

### *(Comparison of machine learning algorithms for detecting coral reef)*

Eduardo Tusa<sup>1,2</sup>, Alan Reynolds<sup>1</sup>, Neil Robertson<sup>1</sup>, David Lane<sup>1</sup>,  
Hyxia Villegas<sup>2,3</sup>, Antonio Bosnjak<sup>3</sup>

#### **Resumen:**

El presente trabajo se enfoca en el desarrollo de un detector de coral de desempeño rápido que se utiliza para un vehículo autónomo submarino (AUV, por sus siglas en inglés). Una detección rápida de coral garantiza la estabilización del AUV en las cercanías del arrecife de coral en el menor tiempo posible, evitando que la desorientación del AUV destruya al arrecife. En este trabajo se usó la investigación de Purser, Bergmann, Lundälv, Ontrup, & Nattkemper (2009), por su precisión. Este detector consta de una parte de extracción de vectores característicos, la cual se realiza con filtros Gabor Wavelets; y una parte de clasificación de vectores que usa máquinas de aprendizaje, basado en Redes Neuronales. Debido al extenso tiempo de ejecución de las Redes Neuronales, se reemplazaron por un algoritmo de clasificación basado en Árboles de Decisión. Se utilizó una base de datos de 621 imágenes de corales de Belice (110 imágenes de entrenamiento y 511 imágenes de prueba). Se implementó un banco de filtros Gabor Wavelets utilizando C++ y la librería OpenCV. Se realizó la comparación de la precisión y el tiempo de ejecución de 9 algoritmos de máquinas de aprendizaje, cuyo resultado fue la selección del algoritmo de Árboles de Decisión. Nuestro detector de coral posee un tiempo de ejecución de 70ms en comparación con 22s desarrollados por el algoritmo de Purser et al. (2009).

**Palabras clave:** Coralbot, arrecife de coral, máquinas de aprendizaje, filtros Gabor Wavelets.

#### **Abstract:**

This work focuses on developing a fast coral reef detector, which is used for an autonomous underwater vehicle, AUV. A fast detection secures the AUV stabilization respect to an area of reef as fast as possible, and prevents devastating collisions. We use the algorithm of Purser et al. (2009) because of its precision. This detector has two parts: feature extraction that uses Gabor Wavelet filters, and feature classification that uses machine learning based on Neural Networks. Due to the extensive time of the Neural Networks, we exchange for a classification algorithm based on Decision Trees. We use a database of 621 images of coral reef in Belize (110 images for training and 511 images for testing). We implement the bank of Gabor Wavelets filters using C++ and the OpenCV library. We compare the accuracy and running time of 9 machine learning algorithms, whose result was the selection of the Decision Trees algorithm. Our coral detector performs 70ms of running time in comparison to 22s executed by the algorithm of Purser et al. (2009).

**Keywords:** Coralbot, coral reef, machine learning, Gabor Wavelets filters, OpenCV.

---

<sup>1</sup> Heriot-Watt University, Institute for Sensors Signals and Systems, Edinburgh – United Kingdom (et109@hw.ac.uk)

<sup>2</sup> Universidad Técnica de Machala, Facultad de Ingeniería Civil, Machala – Ecuador (etusa@utmachala.edu.ec)

<sup>3</sup> Universidad de Carabobo, Centro de Procesamiento de Imágenes, Valencia – Venezuela (hyxia@uc.edu.ve)

## **1. Introducción**

La restauración del arrecife de coral de manera convencional envuelve condiciones extremas para los buceadores voluntarios que trasplantan fragmentos perdidos de arrecife hacia un marco de arrecife de coral más grande. *Lophelia pertusa* constituye una de las construcciones de especies de coral más importantes en el mundo. No obstante, su ubicación genera limitaciones a la intervención humana debido a las bajas temperaturas y la profundidad del mar que es alrededor de 200 metros (Coralbot, 2013).

El proyecto Coralbot es una propuesta reciente para la reparación autónoma de los arrecifes de coral, con la finalidad de conservar los ecosistemas oceánicos; los mismos que son vitales para la pesca comercial, el turismo y la supervivencia de otras especies. La idea consiste en combinar AUVs con inteligencia de enjambre. Este tipo de inteligencia reproduce el comportamiento de organismos como abejas, termitas o avispas que actúan en grupo desarrollando tareas complejas utilizando reglas sencillas. De esta forma, el equipo de AUVs es desplegado para reconocer arrecifes de coral y ejecutar tareas de restauración.

La presente investigación propone la implementación de un detector de coral de desempeño rápido para que sea incorporado en el robot Coralbot. En este ambiente se requiere una respuesta de posicionamiento inmediato del AUV frente al arrecife de coral; de otro modo, éste perdería su orientación, lo que causaría daños al coral o a sí mismo.

Nos enfocamos en la obtención de los vectores característicos de textura, como lo realizó Purser et al. (2009), utilizando filtros de Gabor Wavelets que fueron implementados usando C++ y la librería OpenCV. Sin embargo, se hizo un estudio del desempeño del algoritmo de clasificación de estos descriptores de textura debido a que las Redes Neuronales utilizadas por Purser et al. (2009) consumían mucho tiempo de cómputo. Por este motivo, se evaluó la precisión y el tiempo de ejecución de nueve algoritmos de máquinas de aprendizaje. El algoritmo de Árboles de Decisión sustituye a las Redes Neuronales utilizadas por Purser et al. (2009).

A continuación discutiremos el estado del arte donde se resumen las teorías principales y las investigaciones actuales que explican la detección del arrecife de coral. Luego, se ilustra el desarrollo del algoritmo implementado en este proyecto. La siguiente sección presenta los resultados de la evaluación del algoritmo. Finalmente, se presentan las conclusiones.

## **2. Estado del arte del detector de coral**

### **2.1. Descriptores característicos del arrecife de coral**

Una cantidad considerable de literatura ha sido publicada sobre la extracción de descriptores característicos. Generalmente, la imagen es transformada en un conjunto de vectores

característicos, de modo que las diferentes regiones o formas deseadas son descritas cuantitativamente mediante sus propiedades: intensidad de color, información de textura, datos del espacio, señales de borde.

El tipo de características utilizadas en la mayoría de los artículos científicos están basados en información de color y textura. Siguiendo esta tendencia, Stought, Greer & Matt (2012) proponen el uso de características de color denominadas funciones cuantiles y descriptores de textura usando la transformada de características de escala invariante (SIFT, por sus siglas en inglés). Las características de color proporcionan buenos resultados, mientras las características SIFT fueron sensibles al ruido.

Marcos, David, Peñaflor, Ticzon & Soriano (2008) utilizan, o bien los valores de la media, el matiz y la saturación para la porción de la imagen; o los pesos mayores de los canales rojo y verde. Éstos son obtenidos mediante la comparación en el espacio normalizado de color rojo y verde, de los histogramas de las porciones de la imagen con aquellos obtenidos para los cuatro grupos de colores que ocurren en el ambiente del arrecife. Las características de texturas son generadas usando una versión rotacional invariante de los Patrones Binarios Locales (LBP, por sus siglas en inglés) (Ojala, Pietikäinen, & Mäenpää, 2002) para generar un histograma de diez componentes.

Beijbom, Edmunds, Kline, Mitchell, & Kriegman (2012) utiliza un banco del filtro rotacional invariante (el banco del filtro de respuesta máxima (MR)) para datos de textura. La información de color es también incluida mediante la aplicación de filtros a cada canal en el espacio de color Lab y apilando los vectores de respuesta del filtro.

Johnson-Roberson, Kumar & Willams (2006) generan 60 características visuales: 12 son la media y la desviación estándar de los canales RGB y HSV respectivamente. Los 48 restantes son obtenidos mediante la convolución de la región con los filtros Gabor Wavelets a seis escalas y cuatro orientaciones, tomando la media y la desviación estándar de los resultados para cada escala y orientación.

Purser et al. (2009) calcula 15 máscaras diferentemente orientadas y espaciadas con el fin de producir un conjunto de 30 características de texturas. Para comparar un sistema de visión de computadoras con el uso de métodos manuales utiliza un cuadrante de 15 puntos, cuadrante de 100 puntos y un marco de mapeo.

Puesto que la información de color es susceptible a la escasa iluminación del fondo marino, se decidió explotar las características de texturas a través del uso del filtro Gabor Wavelets que utiliza Purser et al. (2009), y Johnson-Roberson et al. (2006); pero utilizando siete escalas y cinco orientaciones.

## 2.2. Algoritmos de discriminación de vectores característicos de textura

El diseño del algoritmo orientado a la discriminación de las clases, coral o no coral, puede ser direccionado de diferentes maneras. En la mayoría de los artículos expuestos, los autores aplican aprendizaje supervisado utilizando máquinas (Mitchell, 1997). Esto consiste en tomar un vector característico por cada píxel de la imagen y asignarle su clase, coral o no coral. La asignación de un vector característico se ajusta a un modelo de predicción derivado de los datos de entrenamiento. Este modelo de algoritmo de predicción se explica a continuación.

En el trabajo de Purser et al. (2009) se realiza la detección de coral utilizando Redes Neuronales. A pesar de que los resultados son satisfactorios, el algoritmo consume mucho tiempo de cómputo para la detección de coral. Este tiempo excesivo de procesamiento podría llevar al robot a enfrentar condiciones catastróficas.

Por esta razón, esta investigación evaluó el tiempo de ejecución del desempeño de nueve algoritmos de máquinas de aprendizaje para seleccionar el más rápido, estos son: 1) Árboles de Decisión (DTR) (Loh, 2011), 2) Árboles Aleatorios (RTR) (Bradski & Kaehler, 2008), 3) Árboles extremadamente aleatorios (ERT) (Geurts, Ernst, & Wehenkel, 2006), 4) Boosting (BOO) (Luber, Spinello, & Arras, 2011), 5) Gradiente de Árboles Boosting (GBT) (Friedman, 2000), 6) Clasificador Normal Bayes (NBA) (Mitchell, 1997), 7) Maximización de la Esperanza (EMA) (Bilmes, 1998), 8) Redes Neuronales (MLP) (Bradski & Kaehler, 2008), 9) Máquinas de Vectores de Soporte (SVM) (Mitchell, 1997). El criterio utilizado para la selección de estos algoritmos radica en que se encuentran implementados en C++, y disponibles en la librería OpenCV.

## 3. Metodología

El detector de coral toma una imagen del conjunto de imágenes de prueba y sigue los siguientes pasos (Figura 1):

**A. Pre-procesamiento:** La imagen se lleva a escala de grises para normalizar el valor del píxel.

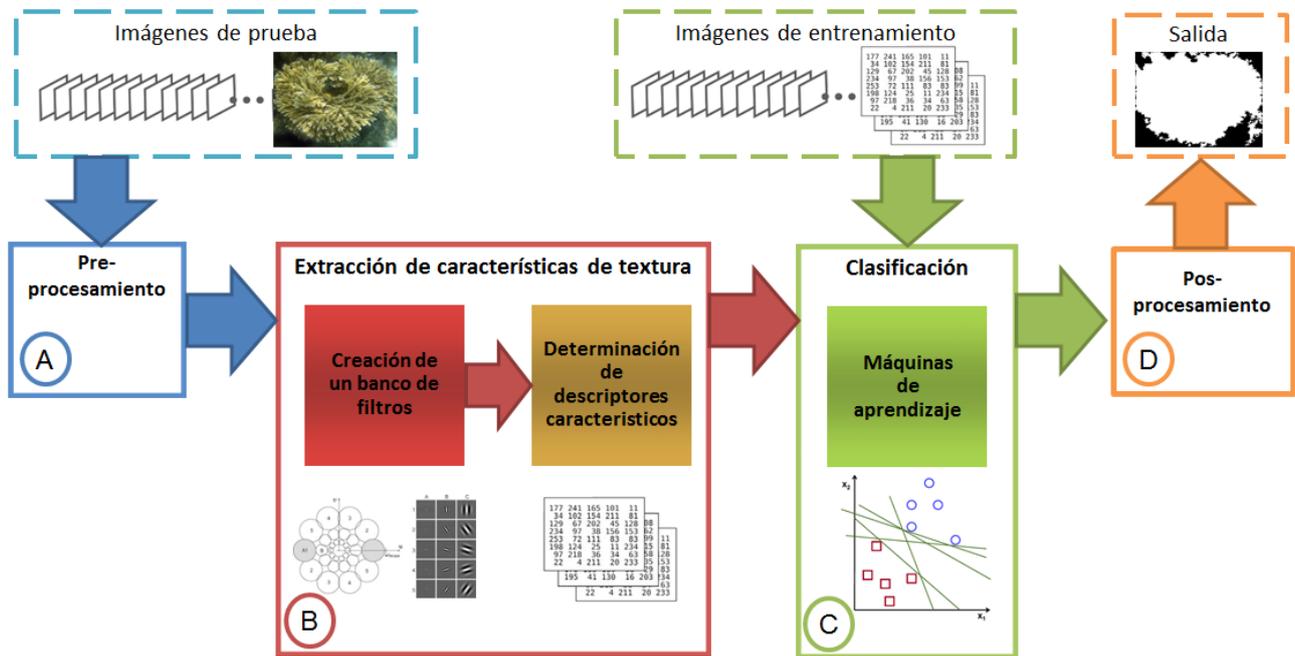
**B. Extracción de características de textura:** Los descriptores característicos de textura se extraen mediante la convolución de la imagen con un banco de filtros Gabor Wavelets. Siguiendo este procedimiento, a cada píxel de la imagen se le asocia un vector característico.

**C. Clasificación:** Se realiza un proceso de discriminación entre la clase coral y no coral mediante un aprendizaje supervisado de máquinas haciendo uso de los nueve algoritmos mencionados anteriormente.

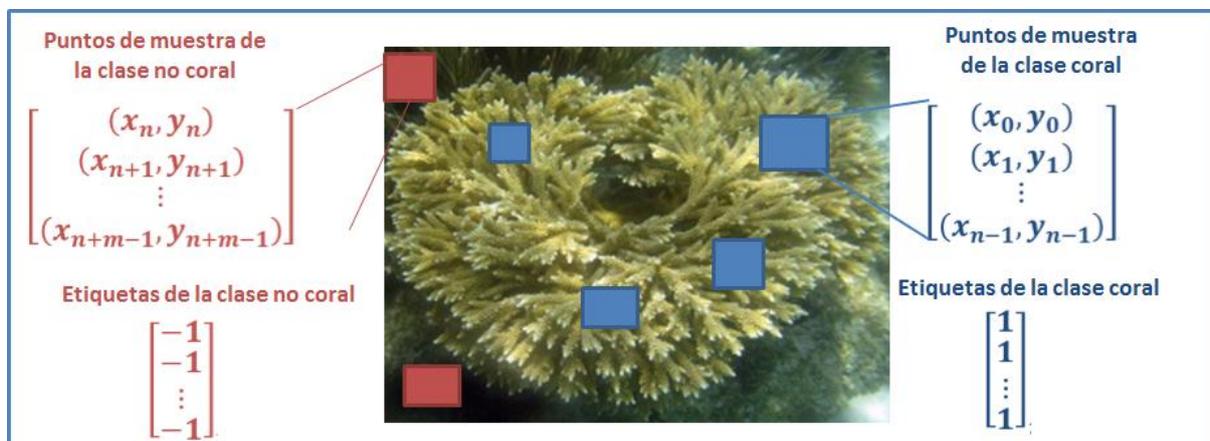
**D. Pos-procesamiento:** Los falsos positivos y los falsos negativos son removidos mediante la selección de los contornos más grandes.

### 3.1. Creación de la base de datos

La base de datos contiene 621 imágenes provenientes del arrecife de coral ubicado en Belice. Este conjunto de imágenes se divide en 110 imágenes para entrenamiento y 511 imágenes para prueba. Sobre cada imagen, el experto seleccionó regiones de interés de la imagen con la forma de un polígono, para separar las regiones que pertenecen al coral, de las regiones que no pertenecen al coral, asignándoles los valores +1 y -1, respectivamente (Figura 2), seleccionando  $n$  puntos para la clase coral, y  $m$  puntos para la clase no coral. Los elementos, en estas regiones seleccionadas, se almacenan en un vector, en donde se registran las coordenadas de los píxeles dentro de estas regiones.



**Figura 1.** Diagrama de bloques del Detector de Coral: A. Pre-procesamiento, B. Extracción de características de textura, C. Clasificación y D. Pos-procesamiento.



**Figura 2.** Las regiones de interés de la imagen está conformada por polígonos de  $n$  puntos para una clase de coral, y  $m$  puntos para una clase que no es coral.

### 3.2. Filtros Gabor Wavelets

En el dominio espacial, un filtro Gabor 2D es el resultado de una función Gaussiana modulada por una onda sinusoidal. La expresión matemática para este filtro se describe en (1)

$$g(x, y) = e^{-\left(\frac{(x-x_0)^2}{2\sigma_x^2} + \frac{(y-y_0)^2}{2\sigma_y^2}\right)} e^{-ik(x-x_0)} \quad (1)$$

donde  $(x_0, y_0)$  es el centro de la onda Gaussiana,  $\sigma_x$  y  $\sigma_y$  son las varianzas de la Gaussiana a lo largo de los ejes  $x$  y  $y$ , respectivamente;  $k = 2\pi/\lambda$  es la frecuencia espacial de una onda en el plano complejo con la onda normal a lo largo del eje  $x$ , y  $\lambda$  es la longitud de onda.

Se trabaja con filtros Gabor Wavelets que son funciones similares a sí mismas. Si se considera a la función  $g(x,y)$  como la Gabor Wavelets matriz, entonces un banco de filtros similares a sí mismos puede ser creado mediante escalamientos y rotaciones de la función  $g(x,y)$  a través de las expresiones (2), (3) y (4)

$$g_{mm} = g(x', y') \quad (2)$$

$$x' = a^{-m} (x \cos \Theta_n + y \sin \Theta_n) \quad (3)$$

$$y' = a^{-m} (-x \sin \Theta_n + y \cos \Theta_n) \quad (4)$$

El diseño del diccionario conformado por los filtros Gabor Wavelets utiliza 7 escalas y 5 orientaciones diferentes. Los parámetros del filtro son seleccionados para asegurar que una magnitud de la mitad del pico de las respuestas del filtro, en el espectro de frecuencia, se topen entre ellas (Manjunath & Ma, 1996). Las expresiones para mantener estas condiciones están dadas por (5), (6), (7)

$$a = \left(\frac{U_h}{U_l}\right)^{\frac{1}{M-1}} \quad (5)$$

$$\sigma_x = \frac{(a+1)\sqrt{2\ln(2)}}{2\pi(a-1)U_h} \quad (6)$$

$$\sigma_y = \frac{\sqrt{2\ln(2) - \left(\frac{\ln(2)}{\pi\sigma_x U_h}\right)^2}}{2\pi \tan\left(\frac{\pi}{2N}\right) \left[ U_h - 2\ln\left(\frac{1}{2\pi^2\sigma_x^2 U_h}\right) \right]} \quad (7)$$

donde  $a$  es un factor de la escala del filtro,  $U_l$  y  $U_h$  denotan la más baja y la más alta frecuencias de interés, respectivamente.  $M$  es el número de escalas y  $N$  es el número de orientaciones. En la Tabla 1 se muestran los valores de los parámetros utilizados para generar el banco de filtros. Se sigue los procedimientos señalados en Manjunath & Ma (1996), y Chen et. al (2004) para seleccionar los valores de la frecuencia. Chen et al. (2004) resaltan que es muy raro tener imágenes con valores extremos de frecuencias límites inferior y superior entre 0 y 0.5.

**Tabla 1.** Parámetros del banco de filtros Gabor Wavelets

Parámetro	Valor
Número de escalas	7
Número de orientaciones	5
Frecuencia central superior $U_l$	0.40
Frecuencia central inferior $U_h$	0.05

### 3.3. Extracción de las características de textura

Manjunath et al. (1996) propone un método que utiliza propiedades estadísticas de la repuesta de los filtros con la finalidad de obtener una descripción significativa de textura. Esto se logra mediante la determinación de la media y la desviación estándar no normalizada de la imagen.

La idea es dividir la imagen en conjuntos de bloques rectangulares sobrepuestos que están centrados sobre una malla. Por cada bloque, un vector de textura es calculado y asociado con su correspondiente posición en la malla. La resolución de la malla es igual a la resolución de la imagen en píxeles, cuyo tamaño es de 1024 x 768.

El valor de la media sobre un bloque pequeño es equivalente a la convolución de una imagen de coral con la máscara del filtro. Ontrup, Ritter & Wersing, (2004) utilizan máscaras Gaussianas con el fin de mejorar los resultados de alisamiento. Las características de textura están dadas por las siguientes expresiones en (8) y (9)

$$\mu_{mn}(x, y) = c_{mn}(x, y) * gs_{mn}(x, y) \quad (8)$$

$$\sigma_{mn}(x, y) = \sqrt{(c_{mn}(x, y) - \mu_{mn}(x, y))^2 * gs_{mn}(x, y)} \quad (9)$$

donde  $c_{mn}(x, y)$  es la respuesta al canal  $mn$ , correspondiente a la escala  $m$  y la orientación  $n$ , mientras que  $gs_{mn}(x, y)$  está dada por la expresión en (10)

$$g_{sm}(x, y) = \exp\left(-\frac{x^2}{2\rho_x^2} - \frac{y^2}{2\rho_y^2}\right) \quad (10)$$

Ontrup et al. (2004) seleccionaron los anchos del filtro de alisamiento a ser  $\rho_x = 3\sigma_x$  y  $\rho_y = 3\sigma_y$ . Por cada ubicación del píxel en la imagen de entrada, se genera un vector característico de dimensión 70,  $t(x, y)$ , describiendo la textura local en ese punto

$$t(x, y) = [\mu_{1,1} \dots \mu_{5,7}, \sigma_{1,1} \dots \sigma_{5,7}] \quad (11)$$

#### 4. Resultados y Discusión

Los experimentos de este trabajo consistieron en comparar los nueve algoritmos: Árboles de Decisión (DTR), Árboles Aleatorios (RTR), Árboles extremadamente aleatorios (ERT), Boosting (BOO), Gradiente de Árboles Boosting (GBT), Clasificador Normal Bayes (NBA), Maximización de la Esperanza (EMA), Redes Neuronales (MLP), Máquinas de Vectores de Soporte (SVM); disponibles en la librería OpenCV. Se usó una base de datos de 621 imágenes de los arrecifes de coral de Belice, con 110 imágenes para entrenamiento y 511 imágenes para prueba.

En estos experimentos se utiliza una laptop ASUS G55V con procesador Intel Core i7 – 3610QM a 2.30GHz, con memoria RAM de 12 GB, con una tarjeta gráfica NVIDIA GEFORCE GTX 660M 2GB y con sistema operativo UBUNTU. Esto proporciona un ordenador con el triple del número de núcleos que el computador utilizado por Purser et al. (2009), el cual es una laptop Dell M1530 con un procesador Intel Core2 Duo a 2.4 GHz con sistema operativo LINUX.

Los expertos seleccionaron regiones de interés de las 110 imágenes de entrenamiento y generaron 6.800.071 vectores característicos, para el entrenamiento de los algoritmos clasificadores de máquinas de aprendizaje, mencionadas anteriormente. La Figura 3 resume las diferentes métricas utilizadas para comparar los algoritmos clasificadores: Tiempo de ejecución, Precisión, Especificidad y Sensitividad.

El resultado de estos experimentos de comparación dio como algoritmo más rápido, el Árbol de Decisión (DTR) al clasificar una imagen de 1024 x 768 píxeles en un tiempo de ejecución de 70 ms. El tiempo de los demás algoritmos se puede apreciar en la Figura 3a.

El algoritmo de Purser et al. (2009) utiliza redes neuronales basadas en un mapeo auto organizado de características (self-organizing feature map, SOM por sus siglas en inglés). Este algoritmo aprende a mapear descriptores de textura similares, a un vecindario de regiones que están en un disco espacial de dimensión 2. El mapeo divide los datos en clústeres jerárquicamente organizados, de modo que las regiones con apariencia de textura similares son mapeadas a los mismos clústeres, o a los clústeres cercanos sobre el mapa. En términos de tiempo de ejecución, el proceso de mapeo que ordena asimismo la distribución de los vectores de

entrada puede resultar en un tiempo adicional al generado por el algoritmo de Redes Neuronales; lo cual puede ser compensado mediante la reducción de la dimensión de los vectores o del tamaño de la imagen.

Además, el sistema de visión del Coralbot presenta una ventaja importante en los criterios de diseño. El detector necesita discriminar entre dos clases: coral y no coral. Si bien el algoritmo de discriminación de Purser et al. (2009) clasifica en cuatro clases diferentes: coral, no coral y dos tipos de esponja; el tiempo empleado para el proceso de clasificación de vectores característicos se puede reducir, si se disminuye el número de clases que se discriminan. Por esta razón, la disminución del número de las clases a predecir, tiene un importante efecto en el tiempo de ejecución del algoritmo.

#### **4.1. Resultados de la evaluación de la precisión**

La precisión mide la tasa de predicciones correctas del número total de casos evaluados. En la Figura 3b se aprecia que ERT, MLP, GBT y BOO sobrepasan el 70% de precisión. DTR, NBA y EMA poseen precisiones que no sobrepasan el 60%. SVM no produce una clasificación notoria entre los nueve clasificadores.

La Figura 4 resume los resultados obtenidos para la tarea de clasificación del coral Staghorn. En la Figura 4a se presenta la imagen de entrada, mientras que las Figuras restantes, presentan los resultados de los algoritmos de clasificación mencionados anterior. La clase no coral o plano de fondo, se ha coloreado de blanco con el fin de contrastar con lo que el sistema reconoce como coral. Las Figuras 4b y 4c presentan los resultados de los algoritmos DTR y BOO, respectivamente. Se aprecia una ubicación satisfactoria de la región que corresponde al coral dentro de la escena. El algoritmo de EMA (ver Figura 4d) pierde levemente algunas detecciones positivas verdaderas. No obstante, el NBA (ver Figura 4e) incrementa notoriamente el número de falsos negativos, enviando píxeles de coral al plano de fondo. Las Figuras 4f y 4g que corresponden a los algoritmos ETR y MLP, respectivamente; presentan una alta presencia de falsos positivos, es decir; píxeles del plano de fondo considerados como arrecifes de coral. El algoritmo RTR (ver Figura 4h) muestra resultados similares a DTR y a BOO; sin embargo, algunos falsos positivos se filtran en el plano de fondo. La Figura 4i corresponde al algoritmo de GBT, el cual presenta dificultades para reconocer al buceador como plano de fondo. Finalmente, la Figura 4j muestra el resultado del algoritmo SVM. La imagen presenta una pequeña presencia de coral con un abundante plano de fondo detectado como coral. Esto dificulta focalizar un sector específico de arrecife de coral en la escena.

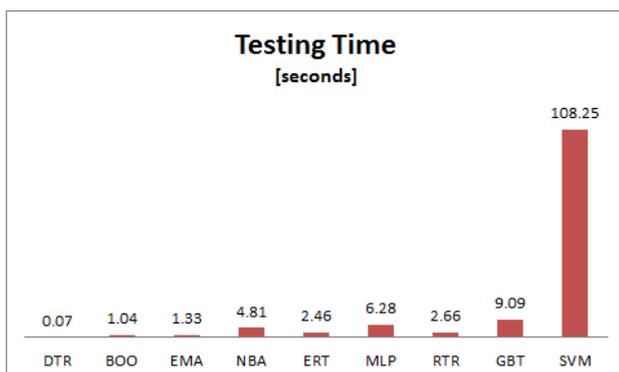
#### **4.2. Resultados de la evaluación de la sensibilidad y especificidad**

La sensibilidad es una medida de probabilidad para una segmentación que recoge la presencia de coral en la ubicación correcta cuando esta clase está originalmente en esa ubicación. La

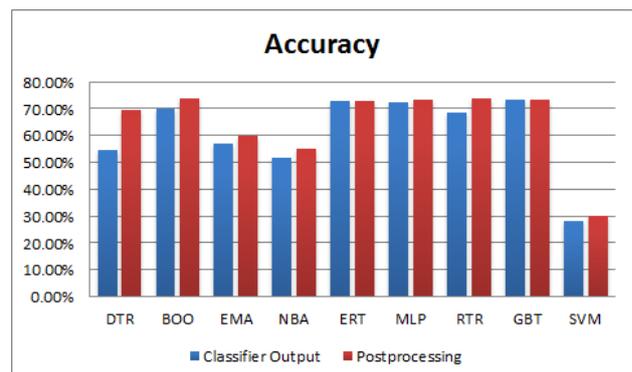
especificidad es definida como la probabilidad en que la imagen segmentada, el arrecife de coral no es detectado en una ubicación cuando de hecho no es arrecife de coral. Un resultado importante es que las tasas de especificidad son más bajas que las tasas de sensibilidad. En general, si la sensibilidad es alta y la especificidad es baja, entonces no hay necesidad de preocuparse de los píxeles del plano de fondo en la imagen segmentada, pero el coral segmentado debe ser reexaminado para eliminar los falsos positivos (plano de fondo seleccionado por error como coral). Por tal motivo, se realiza una etapa de posprocesamiento.

#### 4.3. Resultados de la evaluación del pos-procesamiento

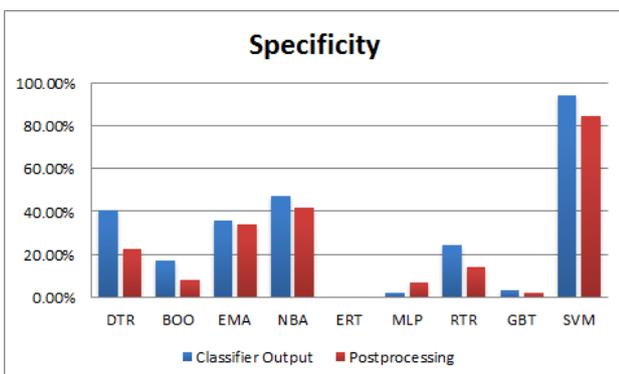
El pos-procesamiento aplica un algoritmo de conexión de componentes. Algunos puntos fueron removidos de las regiones de coral en los resultados de DTR, EMA y NBA. Esto clarifica una mejor ubicación del arrecife de coral en la escena. Además, el algoritmo descarta falsos negativos presentes en el plano de fondo. Los valores de especificidad se disminuyen para casi todos los clasificadores, con excepción de Redes Neuronales que presenta un incremento (Figura 3c). Se muestra incrementos en las tasas de sensibilidad para DTR, BOO y SVM. El resto de clasificadores no exhiben una mejora significativa de sensibilidad (Figura 3d)



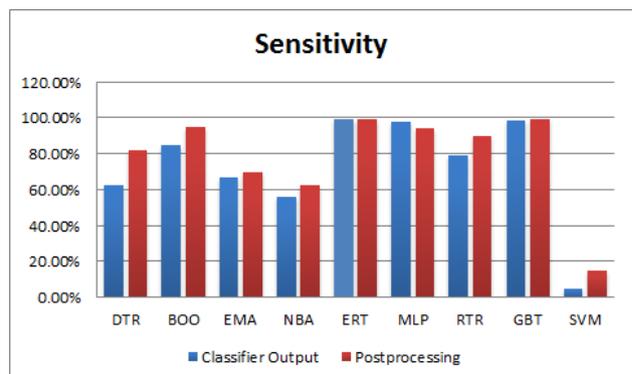
(a) Tiempo de ejecución



(b) Precisión



(c) Especificidad



(d) Sensitividad

**Figura 3.** Métricas utilizadas para la comparación de los nueve clasificadores:

(a) Tiempo de ejecución. (b) Precisión. (c) Especificidad. (d) Sensitividad

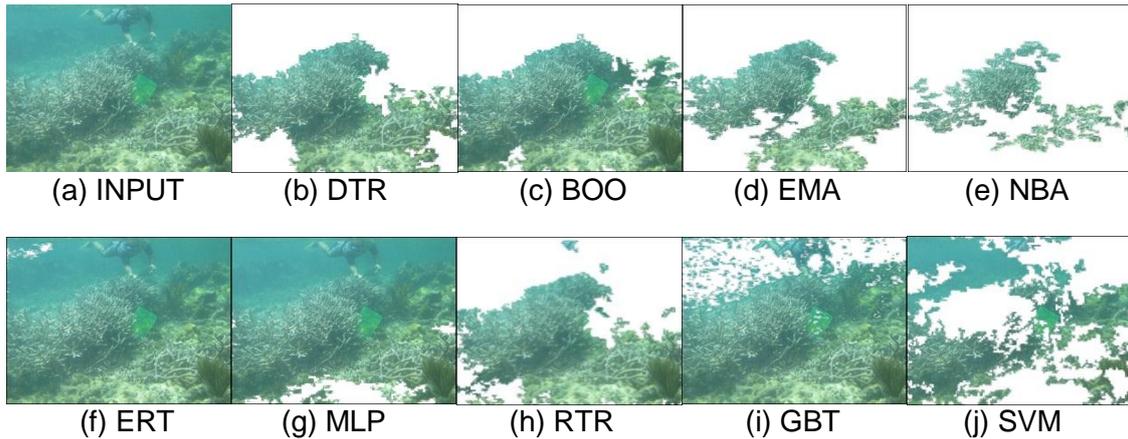


Figura 4. Resultados de la detección del coral Staghorn

## 5. Conclusiones y Recomendaciones

Este artículo presenta un detector de coral que clasifica entre dos clases: la clase que pertenece al coral y el plano de fondo que no pertenece al coral. El algoritmo de aprendizaje supervisado se entrena con vectores característicos de textura generados por un banco de filtros Gabor Wavelets. Nueve clasificadores fueron evaluados mediante 4 métricas. Los clasificadores: Árboles extremadamente aleatorios, Gradiente de Árboles Boosting, Redes Neuronales y Máquinas de Vectores de Soporte; mostraron dificultades para discriminar las clases. En contraste, los clasificadores: Árboles de Decisión, Boosting, Maximización de la Esperanza, Clasificador Normal Bayes y Árboles Aleatorios; presentaron una clasificación visual prometedor. El algoritmo de Árboles de Decisión (DTR) presentó el menor tiempo de ejecución con la más alta precisión antes y después del pos-procesamiento. Por lo tanto, recomendamos la inclusión del algoritmo de Árboles de Decisión (DTR) como un software imprescindible para el robot submarino: Coralbot.

El trabajo futuro consiste en la integración del detector de coral con el AUV Coralbot mediante un simulador de robots marinos, denominado UWSim con la finalidad de probar algoritmos de servocontrol. Éstos permitirán relacionar la velocidad del robot con la ubicación del arrecife en la escena, para ejecutar acciones de control y evitar así su desorientación o la ruptura del arrecife.

## Bibliografía

- Beijbom, O., Edmunds, P., Kline, D., Mitchell, G., & Kriegman, D. (2012). Automated Annotation of Coral Reef Survey Images. *Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 1170-1177.
- Bilmes, J. (1998). A Gentle Tutorial of the EM Algorithm and its Application to Parameter Estimation for Gaussian Mixture and Hidden Markov Models. *International Computer Science Institute and Computer Science Division*.

- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. Cambridge: MA: O'Reilly.
- Chen, L., Lu, G., & Zhang, D. (2004). Effects of different gabor filter parameters on image retrieval by texture. *Multimedia Modelling Conference, 2004. Proceedings. 10th International*, 273 - 278.
- Coralbot, T. (1 de Abril de 2013). *About coral reefs and current approaches for restoration*. Obtenido de Coralbot Web site: <http://www.coralbots.org/>
- Friedman, J. (2000). Greedy function approximation: A gradient boosting machine. *Annals of Statistics*, 1189-1232.
- Geurts, P., Ernst, D., & Wehenkel, L. (2006). *Extremely randomized trees*. Liege: Springer Science + Business Media.
- Johnson-Roberson, M., Kumar, S., & Williams, S. (2006). Segmentation and classification of coral for oceanographic surveys: A semi-supervised machine learning approach. *Proceedings of OCEANS 2006 - Asia Pacific*.
- Loh, W.-Y. (2011). Classification and regression tree. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 14-23.
- Luber, M., Spinello, L., & Arras, K. O. (2011). People tracking in rgb-d data with on-line boosted target models. *in Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*.
- Manjunath, B. S., & Ma, W. Y. (1996). Texture features for browsing and retrieval of image data. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 837-842.
- Marcos, M. S., David, L., Peñaflores, E., Ticzon, V., & Soriano, M. (2008). Automated benthic counting of living and non-living components in Ngedarrak Reef, Palau via subsurface underwater video. *Environmental Monitoring and Assessment*, 177-184.
- Mitchell, T. (1997). *Machine Learning*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Ojala, T., Pietikäinen, M., & Mäenpää, T. (2002). Multiresolution gray-scale and rotation invariant texture classification with local binary patterns. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 971-987.
- Ontrup, J., Ritter, H., & Wersing, H. (2004). A computational feature binding model of human texture perception. *Cognitive Processing*, 34-44.
- Purser, A., Bergmann, M., Lundälv, T., Ontrup, J., & Nattkemper, T. W. (2009). Use of machine-learning algorithms for the automated detection of cold-water coral habitats: a pilot study. *397(3354/meps08154)*.
- Stough, J., Greer, L., & Matt, B. (2012). Texture and Color Distribution-based Classification for Live Coral Detection. *Proceedings of the 12th International Coral Reef Symposium*.