

## INDICE GENERAL

CONTENIDO	Página
INDICE DE FIGURAS	1
INDICE DE TABLAS	5
RESUMEN	9
INTRODUCCIÓN	17
Tipos de lenguas electrónicas	20
Lenguas electrónicas potenciométricas	20
Lenguas electrónicas impedimétricas	21
Lenguas electrónicas voltamétrica	21
Tipos de Voltametría	23
Tratamiento de datos y Análisis estadístico	25
Análisis de componentes Principales	26
Regresión de mínimos cuadrados parciales	26
REFERENCIAS	29
OBJETIVOS	33
OBJETIVO GENERAL	35
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35

### **CAPÍTULO I:**

#### **INFLUENCIA DE LA AMPLITUD DEL POTENCIAL EN UNA SECUENCIA (TREN) DE PULSOS DE LENGUA ELECTRÓNICA**

<b>VOLTAMÉTRICA (VET) APLICADA A EVALUAR LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DE ALISO</b>	37
RESUMEN	39
INTRODUCCIÓN	39
MATERIALES Y MÉTODOS	44
Preparación de muestras	44
Lengua electrónica Voltamétrica	45
Secuencia de Pulsos	46
Análisis estadístico	48
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	50
Evaluación de las configuraciones de potenciales	50
Predicción de la capacidad antioxidante del aliso usando modelos Trolox	58
CONCLUSIÓN	62
REFERENCIAS	64
APÉNDICE	69
<b>CAPÍTULO I.I:</b>	
<b>ESTUDIO DE LA SIMILITUD ENTRE DOS CONFIGURACIONES DE PULSOS DE SIMILAR POTENCIAL PERO DE DIFERENTE NÚMERO DE PULSOS TOTALES</b>	69
INTRODUCCIÓN	71
MATERIALES Y MÉTODOS	71

Preparación de muestras	71
Análisis Voltamétrico	72
Análisis Estadístico	72
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
CONSLUSIONES	74
REFERENCIAS	75
<b>CAPÍTULO II:</b>	
<b>ESTUDIO DE LA APLICACIÓN DE LA LENGUA ELECTRÓNICA VOLTAMÉTRICA AL ANÁLISIS SENSORIAL</b>	77
RESUMEN	79
INTRODUCCIÓN	79
MATERIALES Y MÉTODOS	82
Preparación de muestras	82
Determinaciones electrónicas. Voltametría de pulsos por medio de lengua electrónica	84
Análisis estadístico	84
Estudio de la respuesta voltamétrica para las mediciones realizadas en los 4 sabores básicos	85
Evaluación de la respuesta voltamétrica en función del compuesto	87

Evaluación de las características de sabor de las frutas y café	87
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	88
Estudio de la respuesta voltamétrica para las mediciones realizadas en los 4 sabores básicos	88
Evaluación de la respuesta voltamétrica en función de la concentración	88
Evaluación de la respuesta voltamétrica en función del compuesto	98
Evaluación de las características de sabor de fruta y café	100
CONCLUSIÓN	108
REFERENCIAS	110
<b>CAPÍTULO III:</b>	
<b>APLICACIÓN DEL EQUIPO DE LEV COMO HERRAMIENTA EN LA PRE CARACTERIZACIÓN DE CAFÉ</b>	113
RESUMEN	115
INTRODUCCIÓN	116
MATERIALES Y MÉTODOS	120
Materiales	120
Muestras	120
Preparación de muestras	121
Métodos	122

Análisis sensorial	122
Determinación de Color	122
Determinación de pH	122
Determinación de Fenoles Totales (FT)	122
Determinación de sólidos solubles. Índice de refracción (IR)	123
Determinación de la capacidad antioxidante	123
Análisis Voltamétrico por medio de LEV. Caracterización de las respuestas voltamétricas obtenidas	124
Análisis Estadístico	125
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	126
Análisis Sensorial	126
Análisis fisicoquímicos	128
Análisis voltamétrico por medio de LEV/VET	132
CONCLUSIÓN	140
REFERENCIAS	140
CAPÍTULO IV:	
MONITORIZACIÓN DE LA ESTABILIDAD DE ZUMO DE NARANJA PASTEURIZADO MEDIANTE LENGUA ELECTRÓNICA POTENCIOMÉTRICA	149
RESUMEN	151
INTRODUCCIÓN	152

MATERIALES Y MÉTODOS	156
Materia Prima	156
Preparación de las muestras	156
Determinaciones microbiológicos	157
Determinaciones Físico químicas	157
Determinación del pH	158
Determinación de los grados Brix	158
Determinación de acidez total	158
Determinación de la concentración de ácido ascórbico	158
Determinaciones Voltamétricas (lengua electrónica)	159
Análisis Estadístico	159
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	161
Determinaciones microbiológicas y físico químicas	161
Determinaciones voltamétricas	165
CONCLUSIÓN	174
REFERENCIAS	175
CONCLUSIONES GENERALES	179

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	Página
<b>Figura I. 1.</b> Matriz de electrodos metálicos: cables de Ir, Rh, Pt and Au	46
<b>Figura I. 2.</b> Señales aplicadas a los electrodos de trabajo de la LEV.	48
<b>Figura I. 3.</b> Respuestas obtenidas por voltametría cíclica de Trolox y Aliso a través de los electrodos de Ir, Rh, Pt and Au.	52
<b>Figura I. 4.</b> Respuesta voltamétrica, para las secuencias de pulsos 50+, 3+, y 4+, sobre los electrodos de Ir y Rh cuando se aplica el pulso de 800 mV y sobre los electrodos de Au y Pt cuando es de 500 mV, en las disoluciones de aliso.	56
<b>Figura I. 5.</b> Respuesta voltamétrica a los 20 ms durante el pulso de 500 mV para el electrodo de Au sobre la muestra de aliso.	57
<b>Figura I. 6.</b> Equivalentes Trolox (mL) observados vs. Predichos para las muestras de Trolox y aliso empleando un modelo de predicción matemática basado en la información voltamétrica de los electrodos nobles o del electrodo de oro	60
<b>Figura I. 7.</b> Valores de Q residuales para los modelos LWR, empleando la secuencia de pulsos 4+.	62
<b>Figura I.I. 1.</b> Comparación de las respuestas voltamétricas obtenidas mediante el tren	

de pulsos denominado 4+ (0, 200, 500, 800 mV) y el primer segmento de cuatro pulsos obtenido de un tren de pulsos genérico de 22 pulsos.	73
<b>Figura I.I. 2.</b> Comparación de las señales voltamétricas obtenidas para las configuraciones de pulsos 4+ y 3+ sobre las concentraciones de los analitos sujetos de estudio.	74
<b>Figura II. 1.</b> Representación gráfica de la componente principal 1 (PC1) frente a la componente principal 2 (PC2) para el estudio de componentes principales (PCA) de las lecturas voltamétricas realizadas sobre las disoluciones de NaCl.	89
<b>Figura II. 2.</b> Representación del análisis VIP para el sabor salado y de unos de los electrodos más influyentes.	93
<b>Figura II. 3.</b> Representación del análisis VIP para el sabor dulce y de unos de los electrodos más influyentes	93
<b>Figura II. 4.</b> Representación del análisis VIP para el sabor ácido y de unos de los electrodos más influyente	94
<b>Figura II. 5.</b> Representación del análisis VIP para el sabor amargo y de uno de los electrodos más influyente.	95
<b>Figura II. 6.</b> Señal extraída del análisis de NaCl durante el pulso de 500mV en el electrodo de Plata.	95

<b>Figura II. 7.</b> Representación gráfica de la componente principal 1 frente a la componente principal 2 para el estudio de componentes principales de las lecturas voltamétricas, de los segmentos VIP, realizadas sobre las disoluciones de NaCl.	97
<b>Figura II. 8.</b> PCA de los 4 sabores básicos utilizando todos los datos.	100
<b>Figura II. 9.</b> Representación gráfica de la componente principal 1 frente a la componente principal 2 para el estudio de componentes principales de las lecturas voltamétricas realizadas sobre los patrones y frutas.	101
<b>Figura II. 10.</b> Representación gráfica de la componente principal 2 frente a la componente principal 3 para el estudio de componentes principales de las lecturas voltamétricas realizadas sobre los patrones y frutas.	102
<b>Figura II. 11.</b> Representación gráfica de la componente principal 1 frente a la componente principal 2 y PC2 frente a PC3 para el estudio de componentes principales de las lecturas voltamétricas realizadas sobre los patrones y frutas	103
<b>Figura II. 12.</b> Representación del análisis VIP para el sabor dulce y las frutas camu camu y kiwi.	104
<b>Figura II. 13.</b> Representación gráfica de la componente principal 1 frente a la componente principal 2 y PC2 frente a PC3 para el	

estudio de componentes principales realizado solo con las lecturas voltamétricas seleccionadas en los segmentos VIP, realizadas sobre los patrones y frutas.	105
<b>Figura II. 14.</b> Representación gráfica de la componente principal 1 frente a la componente principal 2, PC2 frente a PC3 y PC3 vs PC4 , para el estudio de componentes principales realizado solo con las lecturas voltamétricas seleccionadas en los segmentos VIP, realizadas sobre los patrones y frutas.	107
<b>Figura II. 15.</b> Representación del análisis VIP para el sabor salado y el café.	108
<b>Figura III. 1.</b> Biplot parámetros organolépticos.	128
<b>Figura III. 2.</b> Biplot parámetros fisicoquímicos.	132
<b>Figura III.3.</b> Análisis de componentes principales de las lecturas voltamétricas para todas las muestras de café.	133
<b>Figura III. 4.</b> Caracterización de los cafés en los cuatro sabores básicos a partir de la información obtenida en el Capítulo 2.	135
<b>Figura III. 5.</b> Representación gráfica de los valores medidos de pH, capacidad antioxidante, uniformidad y puntuación total frente a los predichos al aplicar los modelos matemáticos desarrollados mediante el PLS.	139

<b>Figura III. 6.</b> Representación del análisis VIP para las variables pH y capacidad antioxidante, así como del tren de pulso aplicado.	139
<b>Figura IV. 1.</b> Curva de crecimiento microbiano para la mezcla de <i>Alicyclobacillus acidoterrestris</i> y <i>Alicyclobacillus hesperidum</i> en zumo de naranja incubado a 50oC durante 25 días.	162
<b>Figura IV. 2.</b> Evolución de la concentración de ácido ascórbico expresada en gramos/100mL de zumo de naranja, y de la concentración de ácido cítrico expresada en gramos/100mL de zumo de naranja.	164
<b>Figura IV. 3.</b> Resultado de los Q-residuals para el estudio del día de análisis.	166
<b>Figura IV. 4.</b> Ajuste lineal de los valores de crecimiento microbiano (log UFC/mL de zumo) medidos vs predichos por el modelo PLS.	169
<b>Figura IV. 5.</b> Ajuste lineal de los valores de ácido ascórbico medidos vs predichos por el modelo PLS.	170
<b>Figura IV. 6.</b> Q-Residuals del análisis MSPC para los días 1 y 2 de análisis	173

## ÍNDICE DE TABLAS

TABLA	Página
<b>Tabla I. 1.</b> Resultados de los modelos generados mediante la regresión localmente ponderada (LWR) para la predicción de aliso, cuando se ha empleado la respuesta voltamétrica de cada uno de los electrodos y la del conjunto de ellos.	59
<b>Tabla II. 1</b> Propiedades Físico químicas de Kiwi y Camu Camu	83
<b>Tabla II. 2.</b> Resultados obtenidos para el estudio de PCA realizado sobre las lecturas voltamétricas realizadas sobre los 4 sabores básicos.	89
<b>Tabla II. 3.</b> Resultados de los estudios de PLS realizados con la totalidad de la información voltamétrica y los obtenidos para el realizado solo con los datos provenientes de la selección VIP del primer PLS.	91
<b>Tabla II. 4.</b> Resultados obtenidos del análisis de componentes principales de la matriz de datos correspondiente a los 4 sabores analizados utilizando la selección de datos del segmento VIP.	96
<b>Tabla II. 5.</b> Resultados PCA de todos los sabores básicos utilizando todo el voltograma o solo la información procedente de los VIP's.	99
<b>Tabla III. 1.</b> Resultados de los atributos de las muestras de café evaluados sensorialmente por un panel de cata conformado por expertos.	

Fragancia/aroma (F/A), sabor (S), sabor residual (SR), acidez (A), cuerpo (C), uniformidad (U), balance (B), taza limpia (TL), dulzor (D) y puntaje del catador (PC).	127
<b>Tabla III. 2.</b> Resultados análisis fisicoquímicos realizados a las muestras. Parámetros de color ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ , C y h), fenoles totales (FT) (mg ácido gálico / g de café molido), pH, índice de refracción (IR), densidad (D) (g/mL) y capacidad antioxidante (CA) (Eq. Trolox (mM)).	131
<b>Tabla III. 3.</b> Valores de correlación PLS obtenidos para los modelos de predicción de las variables fisicoquímicas y sensoriales a partir de la respuesta voltamétrica de la lengua electrónica.	138
<b>Tabla IV. 1.</b> Resultados de la validación del modelo PLS para el modelo matemático de predicción del crecimiento microbiano, de la concentración en ácidos totales y la de ácido ascórbico.	168