ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

OBTENCIÓN DE ACEITE DE AGUACATE MICROENCAPSULADO MEDIANTE SECADO POR ATOMIZACIÓN

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

MAURICIO ALEXANDER CUASPUD ENRÍQUEZ
mcuaspud@hotmail.com

DIRECTOR: ING. EDWIN VERA CALLE, Ph.D.
edwin.vera@epn.edu.ec

Quito, abril 2015

© Escuela Politécnica Nacional (2015)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Mauricio Alexander Cuaspud Enríquez, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

Mauricio Alexander Cuaspud Enríquez

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Mauricio Alexander Cuaspud Enríquez, bajo mi supervisión.

_____

Ing. Edwin Vera Calle, Ph.D.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

Primero y como más importante, le agradezco a Dios por permitirme soñar y porque gracias a él estoy aquí en este momento.

Les agradezco a mis padres y a mi hermana Sonia por su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, por brindarme siempre una sonrisa y por sus palabras de aliento cuando me he sentido caído.

A mi director de tesis Ing. Edwin Vera Calle, Ph.D por su esfuerzo, dedicación, sus conocimientos y paciencia.

Finalmente un agradecimiento muy especial a María Clara Dávalos y al Ec. Mauricio Dávalos por su apoyo desinteresado y por creer en mí.

DEDICATORIA

A mis padres, César y Angelita, como símbolo de todo su trabajo y esfuerzo

A mis sobrinos, Jacqueline y Mateo, como ejemplo de la perseverancia y dedicación

A María Fernanda Loor, por estar siempre a mi lado y darme su apoyo incondicional

ÍNDICE DE CONTENIDOS

PÁGINA

INTRODUCCIÓN

RESUMEN

1 PARTE TEÓRICA 1

1.1 El aguacate, beneficios y producción en el ecuador 1
1.1.1 Origen 1
1.1.2 Taxonomía 1
1.1.3 Especies de aguacate 2
1.1.3.1 Especies mexicana, guatemalteca y antillana 2
1.1.3.2 Especies híbridas 3
1.1.4 Zonas de cultivo en Ecuador 4
1.1.5 Beneficios del consumo de aguacate 6
1.1.6 Usos potenciales e industrialización 8

1.2 Técnicas de extracción de aceite 11
1.2.1 Extracción con disolventes 11
1.2.2 Extracción por prensado al frío 12

1.3 Microencapsulación de aceites 13
1.3.1 Microencapsulación: principios y usos 13
1.3.2 Beneficios de la microencapsulación 18
1.3.3 Sustancias que se microencapsulan 18
1.3.4 Secado por aspersión como un proceso para microencapsulación de componentes activos 21
1.3.4.1 Secado por aspersión 21
1.3.4.2 Principios del proceso de microencapsulación mediante secado por atomización 21
1.3.4.3 Preparación de la emulsión inicial 23
1.3.4.4 Condiciones de operación 24
1.3.4.5 Selección del material de pared 31

2 PARTE EXPERIMENTAL 32

2.1 Materiales 32
2.1.1 Materiales 32
2.1.2 Reactivos 32
2.1.3 Equipos 32

2.2 Obtención de aceite de aguacate microencapsulado 33
2.2.1 Preparación de las emulsiones 33

2.2.2 Viscosidad de la emulsión 34
2.2.3 Análisis de tamaño de partícula y microscopía de las emulsiones 34
2.2.4 Secado por atomización 35
2.2.5 Análisis del tamaño de partícula del aceite microencapsulado y microscopía
2.2.6 Determinación de humedad 36
2.2.7 Humectabilidad 39
2.2.8 Densidad aparente suelta y compacta 39
2.2.9 Contenido de aceite total 39
2.2.10 Contenido de aceite superficial 39

2.3 Estabilidad del aceite microencapsulado 39
2.3.1 Preparación de las muestras 39
2.3.2 Determinación de la humedad e índice de peróxido 40

2.4 Diseño de una planta para la producción de aceite de aguacate microencapsulado 41

2.5 Análisis económico 42

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 43

3.1 Resultados del aceite microencapsulado 43
3.1.1 Caracterización física de la emulsión 43
3.1.2 Secado de las emulsiones 47
3.1.3 Caracterización del aceite microencapsulado 48

3.2 Estabilidad del producto 57

3.3 Diseño de la planta de producción de aceite microencapsulado 62
3.3.1 Definición del producto 62
3.3.2 Capacidad y localización de la planta 62
3.3.3 Materia prima e insumos 63
3.3.4 Proceso tecnológico 63
3.3.5 Descripción del alcance del proyecto 66
3.3.6 Plano de simbología, abreviaturas y nomenclatura utilizada en equipos y líneas de corriente 66
3.3.7 Descripción detallada del proceso 71
3.3.8 Balance de materiales 72
3.3.9 Diseño básico de la planta 73
3.3.10 Programa de trabajo 78

3.4 Análisis económico 79
3.4.1 Inversiones 79
3.4.2 Costo de operación 80
3.4.3 Cálculo del punto de equilibrio (PI) o producción mínima económico 83
3.4.4 Cálculo del VAN y la TIR, con inflación, con financiamiento 84
3.4.5 Análisis de sensibilidad del proyecto 85

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 87

4.1 Conclusiones 87

4.2 Recomendaciones 88

BIBLIOGRAFÍA 90

ANEXOS 101

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Clasificación taxonómica del género Persea	2
Tabla 1.2.	Características de las hojas, frutos, semillas y flores de las razas de aguacate mexicana, guatemalteca y antillana	3
Tabla 1.3.	Características de las variedades Fuerte, Hass y los híbridos DD-17, HX-48 y 14-3-71, producidas en el Ecuador	4
Tabla 1.4.	Número de UPAs por tamaños y superficie plantada de árboles de aguacate en el Ecuador, como cultivo solo y asociado	5
Tabla 1.5.	Composición de ácidos grasos insaturados omega 3, omega 6 y omega 9 en aceites comestibles de uso diario	7
Tabla 1.6.	Materiales de pared utilizados para microencapsular algunos ingredientes alimenticios y la temperatura a la que se secan por atomización	31
Tabla 2.1.	Formulación de las emulsiones de aceite de aguacate preparadas a diferentes proporciones de goma arábiga y maltodextrina DE 10, previo al proceso de secado por atomización	34
Tabla 3.1.	Viscosidad, densidad y tamaño del glóbulo graso en emulsiones de aceite de aguacate preparadas a diferentes proporciones de goma arábiga y maltodextrina DE 10	43
Tabla 3.2.	Condiciones de operación y rendimiento en los distintos tratamientos para la obtención de aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización	47
Tabla 3.3.	Resultados de humedad y humectabilidad del aceite de aguacate microencapsulado obtenido mediante secado por atomización	48
Tabla 3.4.	Tamaño de partícula y densidad aparente del aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización	50
Tabla 3.5.	Aceite total retenido, aceite superficial y eficiencia de microencapsulación del aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización	54
Tabla 3.6.	Resultados del análisis de humedad del aceite microencapsulado almacenado a 30, 40 y 60 ºC	58

Tabla 3.7. Resultados del índice de peróxido en meq O_2/ kg aceite del aceite microencapsulado almacenado a 30, 40 y 60 ºC 60

Tabla 3.8. Nomenclatura de los equipos utilizados por área y proceso 67

Tabla 3.9. Resumen del balance de masa para la producción de las soluciones encapsulantes 72

Tabla 3.10. Resumen del balance de masa para la producción de la emulsión y aceite microencapsulado 73

Tabla 3.11. Diagrama de Gantt 78

Tabla 3.12. Inversión total del proyecto antes de la puesta en marcha 79

Tabla 3.13. Costos anuales de producción 81

Tabla 3.14. Costos anuales operacionales del proyecto 82

Tabla 3.15. Tasa de evaluación del proyecto 84

Tabla 3.16. Indicadores financieros (VAN, TIR) con inflación y con financiamiento del 60 % 85

Tabla 3.17. Indicadores financieros (VAN, TIR) sin inflación y con financiamiento del 60 % 86

Tabla 3.18. Indicadores financieros (VAN, TIR) con financiamiento del 40 % 86

Tabla 3.19. Indicadores financieros (VAN, TIR) sin financiamiento 86

Tabla AII.1. Costo de los equipos utilizados en el proceso productivo 109

Tabla AII.2. Costo de equipos y muebles de oficina 110

Tabla AII.3. Costo detallado de cada construcción 110

Tabla AII.4. Activo diferido o intangible 111

Tabla AIII.1. Cálculo de la energía mínima requerida por el equipo secador 112

Tabla AIII.2. Consumo energético de los equipos de la zona de producción 113

Tabla AIII.3. Energía total consumida en la zona de producción y administración 113

Tabla AIII.4. Ponderación anual del consumo energético 114

Tabla AIII.5. Ponderación anual de consumo de combustible 114

Tabla AIII.6. Ponderación anual de consumo de agua en la zona de producción 115

Tabla AIV.1. Amortización del crédito otorgado por la institución financiera 116

Tabla AV.1. Ponderación anual del costo de la materia prima 117

Tabla AV.2. Ponderación anual del costo de materiales indirectos 117

Tabla AV.3. Ponderación anual del costo de mano de obra directa 119

Tabla AV.4. Ponderación anual del costo de mano de obra indirecta 119

Tabla AV.5. Costos anuales de administración 120

Tabla AVI.1. Cálculo del punto de equilibrio 121

Tabla AVII.1.Flujo de caja del inversionista 123

ÍNDICE DE FIGURAS

PÁGINA

Figura 1.1. Perfil de ácidos grasos del aceite de aguacate Extra Virgen "MIRA" calidad Premium de la empresa UYAMA FARMS S.A. de Ecuador 6

Figura 1.2. Principales destinos de las exportaciones ecuatorianas de aguacate 9

Figura 1.3. Morfología de distintos tipos de microcápsulas; A: matriz, B: microcápsula simple, C: microcápsula irregular, D: microcápsula de pared múltiple, E: microcápsula de núcleo múltiple, D: agregado de microcápsulas 14

Figura 1.4. Esquema de los diferentes procesos de microencapsulación 15

Figura 1.5. Esquema ilustrativo del proceso de microencapsulación por secado por atomización 22

Figura 1.6. Conversión de dos líquidos inmiscibles en una emulsión por medio de dos pasos. Formación de la emulsión primaria o emulsión gruesa y reducción del tamaño del glóbulo graso 24

Figura 3.1. Comportamiento del tamaño del glóbulo graso de las emulsiones en función de su formulación 44

Figura 3.2. Comportamiento de la viscosidad de la emulsión de aceite de aguacate en función del contenido de maltodextrina 45

Figura 3.3. Microscopía de las emulsiones de aceite de aguacate preparadas a diferentes proporciones de goma arábiga y maltodextrina DE 10. A) 1:0, B) 1:1, 46

Figura 3.4. Microscopía electrónica de barrido (SEM) a 250 X del aceite microencapsulado secado por atomización a 150 ºC. A) 1:0, B) 1:1, C) 2:3, D) 3:2 52

Figura 3.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM) a 250 X del aceite microencapsulado secado por atomización a 180 ºC. A) 1:0, B) 1:1, C) 2:3, D) 3:2 52

Figura 3.6. Influencia de la formulación de las emulsiones de aceite de aguacate sobre el porcentaje de aceite presente en la superficie de las microcápsulas 55

Figura 3.7. Influencia del tamaño del glóbulo graso de la emulsión sobre el contenido de aceite superficial en el polvo 56

Figura 3.8. Comportamiento de la humedad del aceite microencapsulado en almacenamiento a las temperaturas de 30, 40 y 60 ºC 59

Figura 3.9. Diagrama de bloques (BFD) del proceso productivo 65

Figura 3.10. Plano de simbología de equipos utilizados en el área de producción 69

Figura 3.11. Diagrama de flujo (PFD) del proceso productivo 70

Figura 3.12. Distribución de la planta de proceso 74

Figura 3.13. Flujo de operarios, materia prima e insumos 75

Figura 3.14. Fachada lateral izquierda y corte A – A' 76

Figura 3.15. Fachada frontal y fachada lateral derecha 77

Figura 3.16. Punto de equilibrio 83

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Especificaciones técnicas de los equipos	102
ANEXO II Inversiones	109
ANEXO III Suministros (planta de proceso y oficinas)	112
ANEXO IV Amortización del crédito	115
ANEXO V Costos de operación	118
ANEXO VI Punto de equilibrio	120
ANEXO VII Costos del flujo de caja	121

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue microencapsular aceite de aguacate por su contenido de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados benéficos para la salud y así evitar su degeneración oxidativa. Para esto, se evaluaron 4 formulaciones que fueron secadas por atomización a 150 y 180 ºC. Se prepararon emulsiones de aceite de aguacate con soluciones de goma arábiga (GA) y maltodextrina (MD), a 4 diferentes proporciones de GA:MD (1:0, 1:1, 2:3; 3:2). Las emulsiones con mayor cantidad de goma en su formulación presentaron mayor estabilidad, menor tamaño del glóbulo graso y mayor viscosidad. Se observó que al incrementar la cantidad de MD en las emulsiones disminuye su viscosidad y aumenta el tamaño del glóbulo graso, este parámetro influyó directamente sobre la cantidad de aceite superficial presente en el producto y por ende sobre la eficiencia de microencapsulación. Las partículas de polvo presentaron del 9 al 18 % de aceite superficial. No se observaron diferencias estadísticamente significativas entre las formulaciones de proporciones GA:MD 1:0 y 3:2 por lo que se optó por la formulación de proporción 3:2 para las pruebas de estabilidad con la finalidad de abaratar costos y limitar la permeabilidad al oxígeno de la membrana.

Se realizó el estudio de estabilidad a tres temperaturas (30 ºC, 40 °C y 60 ºC), para lo cual se utilizaron fundas polilaminadas. Las muestras almacenadas a 30 y 40 ºC no mostraron enranciamiento, su índice de peróxido (IP) se mantuvo constante con un valor de 1 durante los 35 días. En cuanto a la humedad, se mantuvo constante, excepto para las muestras almacenadas a 60 ºC que mostraron un descenso de la misma y valores más altos de IP.

La planta industrial se diseñó con una distribución en U, los equipos fueron seleccionados por catálogo de acuerdo al balance de materiales y se tomó en cuenta un 25 % de sobredimensionamiento. Del análisis económico se concluyó que el proyecto es viable ya que el indicador financiero VAN fue mayor a cero ($ 617 097) y la TIR del proyecto fue mayor que el valor TMAR (46,60 %).

INTRODUCCIÓN

Desde 1960 se conoce que el consumo de aguacate, rico en ácidos grasos insaturados, disminuye el nivel de colesterol de la sangre. Grant (1960) (citado en Pamplona, 2003, p.113) demostró que el consumo de aguacate disminuye el nivel de colesterol en la sangre, entre un 8,7 % y el 42,0 %.

El aguacate junto con la aceituna es uno de los frutos más ricos en grasas, hasta un 20 % según las variedades. El aguacate tiene un contenido lipídico muy bajo en ácidos grasos saturados y muy rico en monoinsaturados (80 %) y poliinsaturados (11-15 %), contiene niveles más elevados de ácidos grasos poliinsaturados (AGP) que el aceite de oliva o el de palma, su aceite es un poderoso antioxidante debido a la presencia de la vitamina E que reduce el riesgo de cáncer y evita el envejecimiento prematuro de las células (Pamplona, 2003, p.113; Pérez, Villanueva y Cosio, 2005, pp.2,3).

Los ácidos grasos poliinsaturados del aceite de aguacate están representados casi en su totalidad por el ácido linoleico (omega 6). Los omega 3 incluyen el ácido α-linolénico proveniente de algunos aceites vegetales y otros AGP de cadena larga presentes únicamente en aceites de pescados de aguas profundas. El aceite de aguacate contiene un 0,96 g de ácido α-linolénico por cada 100 g de aceite (Hermida y Defain, 2006, pp. 5; Castro, 2002, p.133).

Según datos del último censo nacional agropecuario en el Ecuador existen 330 660 árboles dispersos de aguacate en edad productiva con una producción total de 26 259 Tm de los cuales 19 985 Tm están destinadas para la venta.

En la actualidad existe la necesidad de incorporar aceites con propiedades funcionales como el de pescado, aguacate, oliva y otros aceites vegetales a los alimentos con la finalidad de incrementar su valor nutricional y darle un valor agregado. Estos aceites son bien vistos por el consumidor por su contenido de ácidos grasos monoinsaturados (AGM) y ácidos grasos poliinsaturados (AGP) que tienen efectos benéficos sobre el organismo. Sin embargo, los mayores

obstáculos para esta tecnología es la tendencia de los ácidos grasos a oxidarse, lo que produce malos olores y sabores desagradables (Castro, 2002, p.133).

Una alternativa para solucionar este problema es la microencapsulación de aceites. La microencapsulación se ha aplicado a aceites (omega 3, pescado, oliva, nuez, girasol) a fin de mejorar su estabilidad oxidativa. Es ampliamente utilizada por su capacidad de enmascarar sabores y aromas no deseados, a la vez que le confiere facilidad de manipulación y protección del medio externo (Quispe, Chamorro y Quispe, 2011, pp. 2,3).

La microencapsulación es un método mediante el cual se encierra un componente activo, sean vitaminas, minerales y/o ácidos grasos en una matriz polimérica tan pequeña como 1 μm. Un producto microencapsulado, en la industria de alimentos, es considerado como un producto funcional destinado a la industria, sus usos son diversos, puede utilizarse para enriquecer sopas, purés y complementos nutricionales y también para la alimentación clínica en hospitales a fin de compensar deficiencias nutricionales (Calvo et al., 2010, pp. 853-855).

Dentro de las tecnologías utilizadas en la microencapsulación de alimentos, el secado por atomización es el método más utilizado por la facilidad del proceso, su costo relativamente menor y la disponibilidad de la tecnología (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley y Saurel, 2007, p.1110).

El proceso de microencapsulación puede simplificar las operaciones unitarias de la industria de alimentos al convertir los líquidos en sólidos, disminuye los costos de operación y facilita el manejo y transporte de los suministros (Dubey, 2009, p.87).

Con base en lo detallado, el presente proyecto tuvo como finalidad producir aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización, debido a su alto contenido de ácidos grasos insaturados, vitamina E y clorofila benéficos para la salud (Forero *et al*., 2007, p.196) y así facilitar su manipulación y adición a otros alimentos.

1. PARTE TEÓRICA

1.1. EL AGUACATE, BENEFICIOS Y PRODUCCIÓN EN EL ECUADOR

1.1.1. ORIGEN

Se cree que el aguacate (*Persea americana Mill.)* tuvo su origen en las regiones tropicales y subtropicales de América y su propagación natural ocurrió desde las tierras altas de México y llegó hasta el Perú por la costa del Pacífico en Centroamérica a través de Guatemala. Se han hallado restos arqueológicos de fósiles de aguacate de hace 12 000 años en el valle de Tehuacán en el estado de Puebla, México, por lo que se cree que este es su centro de origen (Bernal, Díaz y Tamayo, 2008, p. 11; Knight, 2002, p.1).

En 1871 se introducen plantas de aguacate al estado de California en Estados Unidos y para 1950 California contaba con aproximadamente 50 variedades de aguacate comercial, de las cuales la variedad Fuerte representaba los dos tercios de la producción. En 1970 existe una expansión de la industria del aguacate con el ingreso de la variedad Hass al mercado y el posterior desplazamiento de la variedad Fuerte (Dreher y Davenport, 2013, p.738).

El término inglés con que se conoce a esta fruta es, “avocado”, es una modificación de su nombre en español, aguacate o ahuacate, nombre derivado del vocablo azteca “ahuácatl” que era el término con que ellos nombraban a esta fruta (Baraona y Sancho, 2000, p. 17 ; Knight, 2002, p.1).

1.1.2. TAXONOMÍA

El aguacate pertenece a la familia de las Lauráceas que consta de 50 géneros y cerca de 3 000 especies. El aguacate es el producto más importante de esta

familia (Chanderbali, Soltis, D., Soltis, P. y Wolstenholme, 2013, p.31). En la Tabla 1.1 se presenta la clasificación taxonómica del género Persea.

Tabla 1.1. Clasificación taxonómica del género Persea

REINO	Vegetal
DIVISIÓN	Spermatophyta
SUBDIVISIÓN	Angiospermae
CLASE	Dicotyledoneae
SUBCLASE	Dipétala
ORDEN	Ranales
FAMILIA	Lauraceae
GÉNERO	Persea
ESPECIE	*Persea americana Miller, Persea gratissima Gaerth, Persea drymifolia Blake.*

(Bernal et al., 2008, p. 15)

1.1.3. ESPECIES DE AGUACATE

1.1.3.1 Especies Mexicana, Guatemalteca y Antillana

En la Tabla 1.2 se identifican tres especies de acuerdo a su composición genética, la Mexicana (*Persea americana var. drymifolia*), la Guatemalteca (*Persea nubigena var. guatemalensis*) y la Antillana (*Persea americana var. americana*). La especie Mexicana y Guatemalteca se caracterizan por tolerar temperaturas bajas y estar adaptadas a suelos bien drenados. La especie Antillana está adaptada a zonas tropicales y climas más cálidos como se observa en la Tabla 1.2 (Bernal et al., 2008, p.23). La especie Mexicana posee mayor contenido graso, alrededor del 30 % y su pulpa tiene un sabor característico a nuez.

Tabla 1.2. Características de las hojas, frutos, semillas y flores de las razas de aguacate mexicana, guatemalteca y antillana

CARACTERÍSTICA			MEXICANA *Persea americana var. Drymifolia*	GUATEMALTECA *Persea nubigena var. guatemalensis*	ANTILLANA *Persea americana var. Americana*
Clima			Frío	Frío moderado a medio	Cálido
Temperatura min. (ºC)			2,2	4,0	4,0
Temperatura óptima (ºC)			8,0 a 15,0	12,0 a 22,0	18,0 a 26,0
Hojas	**Olor a anís**		Si	No	No
	Color		Verde oscuro lustroso	Verde oscuro lustroso	Verde claro opaco
	Tamaño		Pequeña	Mediana	Grande
Frutos	**Tamaño**		Pequeño	Variable	Variable
	Peso (g)		80 a 250	200 a 1500	250 a 2500
	Contenido de aceite (%)		30	18 a 20	5 a 15
	Cáscara	**Grosor**	Delgada	Gruesa	Mediana
		Tamaño (mm)	0,8	3,0 a 6,0	1.5 a 3,0
		Textura	Lisa	Áspera	Lisa
		Consistencia	Suave	leñosa quebradiza	Flexible
Semilla	**Tamaño**		Grande	Pequeña	Grande
	Estado		Adherida	Adherida	Suelta
	Cotiledones		Rugoso	Liso	Rugoso
Floración a maduración			5 a 8 meses	10 a 15 meses	5 a 9 meses

(Bernal et al., 2008, p. 23)

1.1.3.2 ESPECIES HÍBRIDAS

En el año 1999 la variedad más cultivada en el Ecuador era la Fuerte y existía una sobre demanda de aguacate en los meses de febrero a julio, esto tenía repercusión en los precios y en la economía de los agricultores dedicados a estos frutales. Para evitar la concentración de la producción y la variación marcada de los precios el INIAP desarrolló las variedades HX-48 y DD-17, que se observan en la Tabla 1.3 (León, 1999, p.2).

Sin embargo, actualmente la variedad más cultivada sigue siendo la Fuerte ya que tiene gran demanda tanto en el mercado interno como en el mercado colombiano.

Actualmente existe interés por exportar la fruta al mercado Europeo y Norteamericano.

Tabla 1.3. Características de las variedades Fuerte, Hass y los híbridos DD-17, HX-48 y 14-3-71, producidas en el Ecuador

Variedad	Raza	Tipo de flor	Color de corteza a la madurez	Forma del fruto	Peso (g)	Grasa (%)	Época de cosecha
FUERTE	G x M	B	Verde	Aperado	180 a 420	18 a 22	feb-jul
HASS	G	A	Negro	Ovalado	180 a 360	20 a 23	may-sep
DD-17	G x A	……..	Verde	Ovalado	180 a 300	15 a 17	marzo
HX-48*	G x A	A	Negro	Aperado	180 a 360	15 a 17	marzo
14-3-71*	M x G	B	Negro	Ovalado	300 a 600	8 a 11	nov-dic

*Se puede plantar a mayor densidad 4 x 5 = 500 pl/Ha
G= Guatemalteco
M= Mexicano
A= Antillano

(Villavicencio y Vásquez, 2009)

1.1.4. ZONAS DE CULTIVO EN ECUADOR

Según datos del INIAP en el Ecuador el mayor número de Unidades de Producción Agropecuaria (UPAs) dedicada al cultivo de aguacate se encuentra en manos de los pequeños agricultores y la mayor área de cultivo se encuentra en manos de los grandes productores (Villavicencio y Vásquez, 2009).

De acuerdo a datos del III Censo Nacional Agropecuario en el país existen 2 290 Ha de aguacate sembradas como cultivo solo, como se observa en la

Tabla 1.4, y cerca de 5 507 Ha como cultivo asociado repartidas entre las razas Mexicana, Guatemalteca y Antillana (SNI, 2012).

Existen 330 660 árboles dispersos de aguacate en edad productiva con una producción total de 26 259 Tm de los cuales 19 985 Tm están destinadas para la venta. Las provincias con mayor número de árboles dispersos son Manabí (44 287), Esmeraldas (13 298), Los Ríos (14 406), Carchi (20 619), Imbabura (19 081), Tungurahua (13 334) y Loja (27 148).

Las principales zonas de cultivo se encuentran en Mira, San Antonio de Ibarra, Chaltura, Atuntaqui, Cotacachi, Perucho, Puéllaro, San Antonio de Pichincha, Guayllabamba, Tumbaco, Puembo, Yaruquí, Patate, Baños, Paute, Gualaceo, Vilcabamba, Malacatos y Catamayo (León, 1999, p.3). Actualmente se produce aguacate en la provincia de Santa Elena, esta provincia tiene 400 Ha de la variedad HASS que están destinadas principalmente a la exportación (Reinoso, 2013, p.21).

Tabla 1.4. Número de UPAs por tamaños y superficie plantada de árboles de aguacate en el Ecuador, como cultivo solo y asociado

TAMAÑO DE UPA (Ha)	ASOCIADO		SOLO	
	UPAs	Hectáreas	UPAs	Hectáreas
> 200	32	347	26	171
100-200	60	419	**	**
50-100	113	998	**	**
20-50	291	1015	209	421
10-20	431	1220	232	304
5-10	474	536	421	384
3-5	476	370	338	234
2-3	287	265	220	148
1-2	469	165	490	181
<1	1257	172	970	178
TOTAL	3 890	5 507	2 990	2 290

** No se reportan datos

(Sistema Nacional de Información, 2012)

1.1.5. BENEFICIOS DEL CONSUMO DE AGUACATE

El aguacate junto con la aceituna es uno de los frutos más ricos en grasa, contiene hasta un 25 % según las variedades. El aguacate tiene un contenido lipídico muy bajo en ácidos grasos saturados y muy rico en monoinsaturados, (80 %) y poliinsaturados (11-15 %), contiene niveles más elevados de ácidos grasos poliinsaturados que el aceite de oliva o el de palma, su aceite es un poderoso antioxidante debido a la presencia de la vitamina E que reduce el riesgo de cáncer y evita el envejecimiento prematuro de las células (Pamplona, 2003, p.113; Pérez, Villanueva y Cosio, 2005, pp. 2, 3). Es rico en potasio, magnesio, hierro, ácido ascórbico y vitamina D. En la Figura 1.1, se muestra el perfil lipídico del aceite de aguacate calidad Premium producido por la empresa ecuatoriana UYAMÁ FARMS S.A.

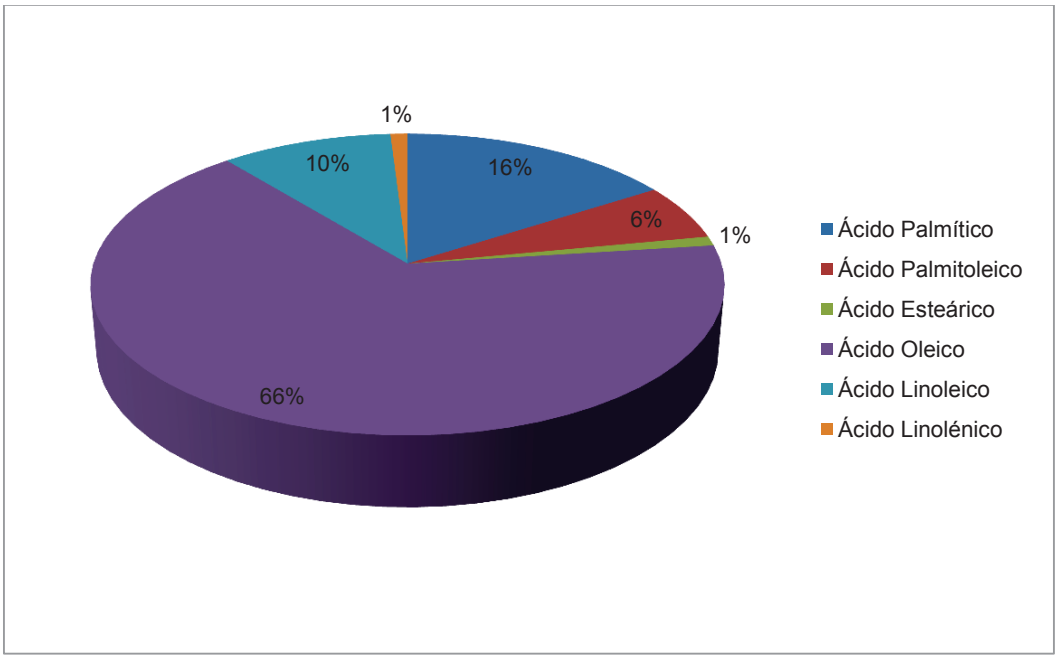


Figura 1.1. Perfil de ácidos grasos del aceite de aguacate Extra Virgen "MIRA" calidad Premium de la empresa UYAMA FARMS S.A. de Ecuador

Eyres (2001) (citado en Forero, García y Cárdenas-Hernández, 2007), determinó que el aceite de aguacate tiene mayor nivel de clorofila (40 - 60 mg/kg), vitamina E (antioxidante) y ácidos grasos insaturados que el aceite de oliva (p.196). El aceite de oliva tiene alrededor del 70,0 % de ácido oleico, 10,0 % de ácido

palmítico, 10,0 % de ácido linoléico y menos del 1,5 % de ácido linolénico, 100 mg/kg de Tocoferol y 100 mg/kg de vitamina E (antioxidante), mientras que el aceite de aguacate tiene un 80,0 % de ácido oleico también conocido como omega 9,1 % de ácido linoléico, 1,0 % de ácido α-linolénico también conocido como omega 3, 130 mg/kg de Tocoferol y 200 mg/kg de vitamina E (Alvizouri y Rodriguez, 2009, pp. 380, 383). En la Tabla 1.5, se muestra la cantidad de ácidos grasos presentes en otros aceites comestibles.

Tabla 1.5. Composición de ácidos grasos insaturados omega 3, omega 6 y omega 9 en aceites comestibles de uso diario

ALIMENTOS	% omega – 9	% omega – 6	% omega – 3
Aceite de aguacate	72,0	9,0	0,5
Aceite de oliva	66,8	11,8	0,6
Mantequilla de maní	51,6	26,2	0,0
Aceite de maíz	28,7	47,8	1,5
Aceite de canola	58,2	10,1	0,0
Aceite de germen de trigo	15,4	53,6	10,4
Almendras	70,9	19,1	0,5

(Birkbeck, 2001, p.2)

Desde 1960, se conoce que el consumo de aguacate, rico en ácidos grasos insaturados, disminuye el nivel de colesterol de la sangre. Grant (1960) (citado en Pamplona, 2003) demostró que el consumo de aguacate disminuye el nivel de colesterol entre un 8,7 % y el 42,0 % (pp. 114,115). Estudios llevados a cabo en el Hospital General de Morelia en México han demostrado que el consumo de aguacate tiene un efecto significativo en el descenso de colesterol en la sangre así como en una reducción del nivel plasmático de triglicéridos, sin embargo para obtener estos beneficios es necesario disminuir la cantidad de carbohidratos y ácidos grasos poliinsaturados (Pérez et al., 2005, pp.3-5).

En la Unidad de Investigación del Hospital General Dr. Miguel Silva de la ciudad de Morelia, Michoacán, México se realizaron estudios en personas con diabetes, pacientes con hipercolesterolemia y en mujeres con sobrepeso, a quienes se les

administró una dieta rica en ácidos grasos monoinsaturados mediante aguacate durante 4 semanas. Al final del estudio se observó que una dieta rica en ácido oleico y baja cantidad de grasa animal induce el incremento del HDL y el descenso del LDL y de triglicéridos. En pacientes diabéticos se reportó un mejor perfil lipídico y control glucémico adecuado, mientras que las pacientes con sobrepeso bajaron 7 kg en dos meses (Alvizouri y Rodriguez, 2009, pp. 381-383).

1.1.6. USOS POTENCIALES E INDUSTRIALIZACIÓN

El aguacate es una fruta muy apreciada a nivel mundial por su consistencia suave, un agradable sabor y su alto valor nutritivo. El aguacate es la única fruta que aporta todos los elementos nutritivos y en forma balanceada, se lo considera como una de las principales fuentes de ácidos grasos insaturados (Baraona y Sancho, 2000, p. 20).

Según datos de la CORPEI (2009), el mercado mundial de aguacate ha tenido una tendencia creciente, se ha importado un total de 5,5 billones a nivel mundial solamente en el periodo comprendido entre el 2004 y el 2008, las importaciones de aguacate presentan un crecimiento anual del 23 %. Ecuador ha exportado 1,8 millones de dólares por concepto de este producto en el periodo 2004 – 2008, con un crecimiento anual promedio de 5,8 %, Colombia es el principal comprador de aguacate ecuatoriano como se observa en la Figura 1.2. (pp. 3 - 5).

En el periodo de 2009 – 2012 el Ecuador exportó 34 352 toneladas de aguacate, lo que repercutió en un ingreso al país de USD 2,3 millones (FAO, 2014).

Según datos del III Censo Nacional Agropecuario se estima que en el Ecuador existen 7 mil hectáreas sembradas de aguacate repartidas entre la variedad Hass (500 Ha), Fuerte y Guatemalteco, de estas variedades únicamente se exporta el aguacate Hass y las otras variedades se destinan al consumo nacional.

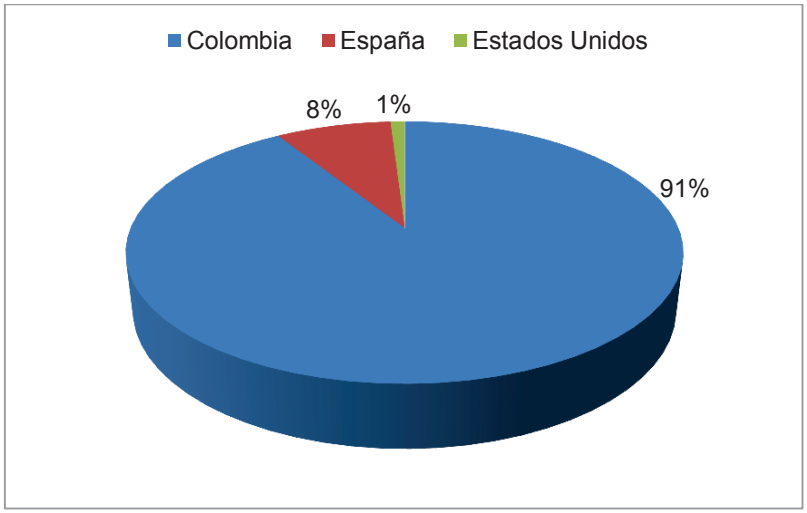


Figura 1.2. Principales destinos de las exportaciones ecuatorianas de aguacate
(CORPEI, 2009, p. 4)

El Instituto de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador (INIAP) desarrolla nuevas tecnologías para promover el cultivo del aguacate ya que el Ecuador tiene un potencial para sembrar hasta 100 mil Ha de aguacate variedad Hass con lo que se podría incrementar las exportaciones del producto fresco y dar paso a la generación de nuevos productos con valor agregado (INEC, 2012).

La fruta se consume principalmente como producto fresco, pulpas y base para guacamole, también se pueden crear productos mínimamente procesados, refrigerados o congelados o como producto liofilizado. Se puede extraer el aceite para uso cosmético y para preparar alimentos de tipo Gourmet.

Soliva (2002) (citado en Forero et al., 2007) menciona que el método de conservación del aguacate que mejores resultados ha presentado es la pulpa congelada, la misma que se utiliza como base para otro tipo de productos como salsas y el conocido “guacamole” (pp. 194, 195). A este producto se añaden conservantes como el ácido cítrico, ácido ascórbico, vitamina E y bisulfito de sodio para evitar la oxidación de la pulpa y cambios organolépticos. Sin embargo, con el cambio en la cultura del consumidor actual el uso de conservantes debe reducirse ya que la tendencia del consumidor es cada vez más a consumir productos

orgánicos y con un nivel menor de conservantes, por lo cual se deben buscar nuevos métodos de conservación (Sandoval, Forero, García, 2010, pp. 58-60).

Palou (2000) (citado en Forero et al., 2007), menciona el uso de altas presiones, alrededor de 689 MPa por periodos de 15 min, para reducir hasta en un 85 % la actividad de la polifenoloxidasa que es la responsable de la degradación del aguacate. En la pulpa de aguacate no se emplea tratamiento térmico para la inactivación enzimática por el alto contenido de ácidos grasos insaturados que posee ya que se ocasionaría un enranciamiento de los mismos (p. 194).

Actualmente la industria aguacatera en el Ecuador es pequeña pero con un gran potencial de desarrollo, el aguacate tiene una fuerte aceptación en el mercado doméstico y un gran potencial para expandirse a mercados internacionales tanto como producto fresco o como alimento procesado (ProChile, 2011, p.4). En el país existen dos empresas dedicadas al procesamiento de aguacate: la empresa UYAMÁ FARMS S.A. y la empresa MIDGO Cía. Ltda.

La empresa UYAMÁ FARMS S.A. inició sus labores en el año 2007, está ubicada en el cantón Mira de la provincia del Carchi, es la primera planta de producción de aceite de aguacate extra virgen del país por medio de tecnología de prensado en frío, con una capacidad de producción de 10 toneladas diarias. Los productos de esta empresa ecuatoriana se destinan principalmente a Colombia, Irlanda, Panamá, Canadá, Corea, Suecia y Rumania, y solo unos pocos se comercializan en el país en la cadena de supermercados SUPERMAXI. Los principales productos que la empresa destina a la exportación son el aceite extra virgen de la primera presión, aceite de calidad Premium, aceite de aguacate Andean Star y aceite de aguacate Chilli Breeze.

La empresa MIDGO Cía. Ltda., es una empresa ecuatoriana fundada en el año 2003, está ubicada en la provincia de Pichincha vía al nuevo aeropuerto Mariscal Sucre, se dedica a la elaboración de salsas de uso gourmet, sus productos se comercializan con la marca “Pacose”. En los principales supermercados del país

se pueden encontrar “Pacose guacamole” y “Pacose guacamole con tomate y pimiento”.

1.2. TÉCNICAS DE EXTRACCIÓN DE ACEITE

Para la obtención del aceite procedente de materias primas vegetales existen dos procesos principales, la extracción mediante disolventes y la extracción mediante prensado en frío. El primer procedimiento se emplea para hacer más rentable el proceso de extracción en semillas que son pobres en materia grasa (Plank, 2005, p. 459).

1.2.1. EXTRACCIÓN CON DISOLVENTES

Para este proceso la materia prima se somete a tratamientos de limpieza, calandrado y un prensado previo para aquellas semillas ricas en grasa, a fin de reducir la utilización de solvente y disminuir los costos de producción (Plank, 2005, p. 459).

Para la extracción del aceite de aguacate por esta tecnología la pulpa se somete al secado en estufa de vacío a 60 ºC por 4 horas. El aceite se extrae de la pulpa seca mediante un sistema Soxhlet, el extracto obtenido se somete a evaporación mediante un ligero calentamiento para eliminar el disolvente en exceso y se seca por estufa al vacío para eliminar el solvente restante y el agua ocluida (Jiménez, Aguilar, Zambrano y Kolar, 2001, pp. 90-93).

Los solventes más utilizados en este proceso son el éter de petróleo, el hexano y una mezcla de cloroformo y metanol. El contenido de aceite extraído reportado por este método está alrededor del 22 %, con un rendimiento del 80 %, estos porcentajes dependen de diversos factores como la variedad, la zona de cultivo y el estado de madurez de la fruta.

La extracción de aceites procedentes de semillas como la soya involucra procesos más complejos debido a su consistencia dura. La soya primero se tritura y descascarilla, luego pasa a un proceso de acondicionamiento donde se calienta y se humedece a fin de facilitar la formación de hojuelas que ayudarán al proceso de extracción (Vega, 2004, p.18). Las hojuelas que se obtienen del prensado no deben ser ni muy gruesas, ni muy delgadas. Lawson, Oyewumi, Ologunagba y Ojomo (2010), encontraron que el grosor óptimo con el que se obtenía la mayor cantidad de aceite era 0,25 mm, además que el proceso de extracción debía realizarse como máximo durante 4,5 h, a una temperatura no mayor a 70 ºC (pp. 53, 54).

Debido al bajo rendimiento de aceite de las semillas, su obtención debe estar asociada a industrias en las que estos materiales sean considerados como desecho y así poder obtener un volumen considerable de dichos materiales para que la obtención de su aceite sea rentable (Sáenz, 2006, p. 84).

1.2.2. EXTRACCIÓN POR PRENSADO AL FRÍO

La extracción de aceite por prensado al frío es el proceso más utilizado industrialmente, el proceso varía sus operaciones unitarias de acuerdo a la naturaleza de la semilla o fruto que se quiera procesar y al producto que se piensa obtener (Vega, 2004, p.20).

El principal aceite que se obtiene por esta tecnología es el aceite de palma africana. El proceso inicia con la recolección de los racimos los cuales se someten a un proceso de esterilización con vapor a fin de separar los frutos del racimo y despegar la almendra del hueso. El fruto se separa mediante máquinas desgranadoras y pasan al proceso de malaxado, la pulpa resultante se somete al prensado donde se separa el aceite del cuesco, el aceite obtenido pasa al proceso de clarificación y centrifugación para obtener así el aceite crudo de palma (Vega, 2004, pp. 20, 21).

Para la obtención de aceite de aguacate se utilizan frutos de la variedad HASS debido a que es la variedad que reporta mayor contenido de materia grasa (Dreher y Davenport, 2013, p.739).

La materia prima que ingresa a la planta pasa por un estricto proceso de control de calidad, los aguacates son clasificados por peso y de acuerdo a sus características fisiológicas, luego de la clasificación son transportados al área de maduración, al cabo de 5 días pasan al área de lavado y desinfección donde son desinfectados con amonio cuaternario grado alimenticio. Una vez desinfectada la materia prima ingresa a la máquina deshuesadora donde se separa la pulpa de la semilla, la pulpa obtenida se lleva a un proceso de maceración y amasado en malaxers batch a 40 ºC por 2 h. La mezcla obtenida se lleva a un equipo decantador de tres fases donde se separan el aceite, el agua y los sólidos. El aceite obtenido pasa a una pulidora de cono múltiple donde se separa el aceite de cualquier impureza y se procede a su envase.

1.3. MICROENCAPSULACIÓN DE ACEITES

1.3.1. MICROENCAPSULACIÓN: PRINCIPIOS Y USOS

La microencapsulación consiste en contener un componente activo, sea líquido, sólido o gaseoso en una partícula sólida tan pequeña como de 1 a 1000 μm con la finalidad de aislar y proteger el componente del medio que lo rodea (Ghosh, 2006, p.12).

El desarrollo de un sistema de encapsulación eficaz se basa en el conocimiento del componente activo que se quiere microencapsular, así como su estabilidad y los factores que intervienen en su proceso degenerativo. Se debe conocer las propiedades del material de pared (polímero natural o artificial) que se ha elegido como matriz encapsulante y el adecuado proceso para la aplicación final (Nazzaro, Orlando, Coppola y Fratianni, 2012, p.182).

La microencapsulación ha tenido un gran impacto en la industria alimenticia, permite la incorporación de componentes naturales como polifenoles, aceites esenciales, ácidos grasos insaturados, enzimas, bacterias ácido lácticas y probióticos en pequeñas cápsulas que encierran el producto, lo protegen del medio externo y permiten su liberación controlada (Ghosh, 2006, p.12; Nazzaro et al., 2012, p.182). El tamaño, estructura y forma de las microcápsulas depende mucho del material que se utilice como elemento de pared y del proceso de formación. En la Figura 1.3, se observan varias de las formas que adquieren las microcápsulas.

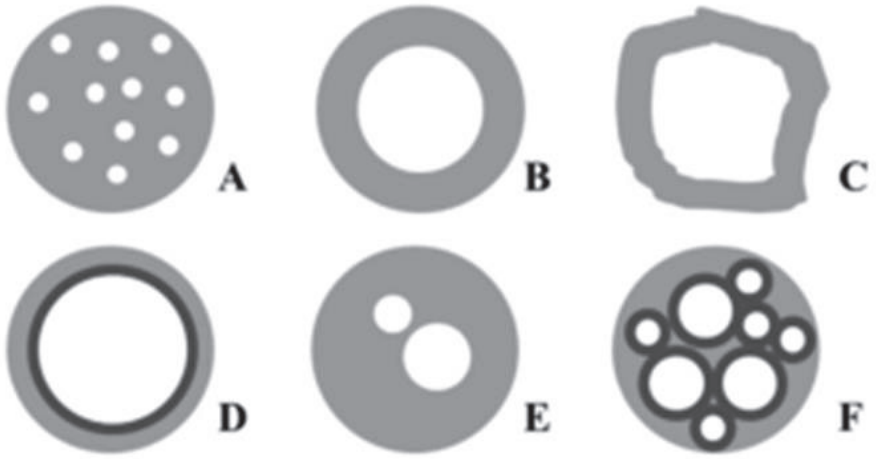


Figura 1.3. Morfología de distintos tipos de microcápsulas; A: matriz, B: microcápsula simple, C: microcápsula irregular, D: microcápsula de pared múltiple, E: microcápsula de núcleo múltiple, D: agregado de microcápsulas
(Estevinho, Rocha, Santos y Alves, 2013, p.140)

Dentro de las tecnologías disponibles para el proceso de microencapsulación se pueden encontrar procesos mecánicos y procesos químicos como se observa en la Figura 1.4. Las tecnologías más importantes son: coacervación, liofilización, atrapamiento en liposomas, el secado por atomización y el lecho fluidizado (Estevinho et al., 2013, p.142).

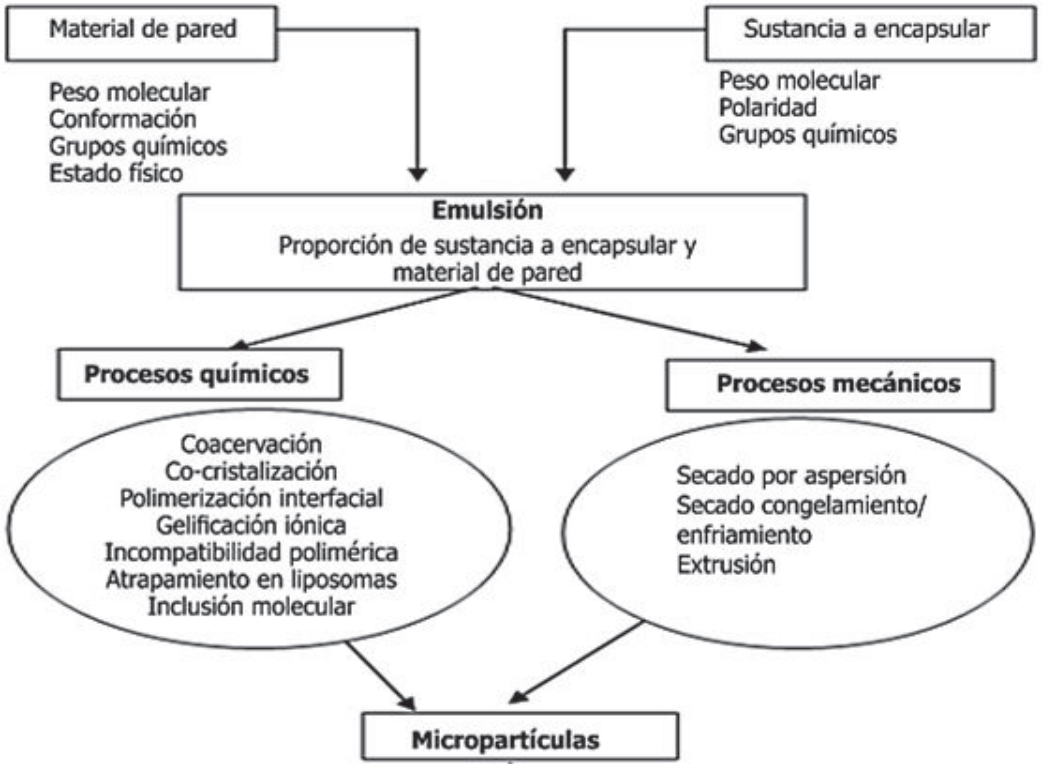


Figura 1.4. Esquema de los diferentes procesos de microencapsulación
(Parra, 2010, p.5676)

La coacervación o separación de fases es una técnica en la que se balancea la interacción electrostática entre dos componentes de una emulsión a fin de crear microcápsulas resistentes al agua y al calor (Onwulata, 2013, p.520).

Esta tecnología es ampliamente utilizada en la preparación de microcápsulas de gelatina y gelatina-acacia (Dubey, Shami y Rao, 2009, p. 85). Este método se emplea para la encapsulación de aromas, aceites, vitaminas, preservantes y enzimas (Gouin, 2004, p. 334). Se define como la desolvatación de una solución polimérica homogénea en dos fases, una fase rica en polímeros que se conoce como coacervado y una fase pobre en polímeros que se conoce como el medio de coacervación (Lam y Gambari, 2014, p. 6). El proceso de separación de fases se divide en coacervación simple y coacervación compleja.

En la coacervación simple, la separación de fases es provocada por la adición de alcohol, sal, un cambio en la temperatura o un cambio en el pH de la solución polimérica que contiene al núcleo o componente activo que se quiere microencapsular, mientras que en la coacervación compleja la fase de separación es inducida por interacciones anión-catión debidas a la adición de un polímero con carga opuesta a la solución polimérica inicial (Benita, 2006, p.103).

Una vez provocada la separación de las fases, la fase rica en polímeros se deposita alrededor del núcleo en forma de micro gotas que conducen a la formación de una membrana que lo protege (Benita, 2006, p. 103). El paso final consiste en la adición de un agente reticulante o endurecedor, ajuste del pH, la recolección de las microcápsulas, lavado y secado (Onwulata, 2013, p. 520).

En la liofilización la solución que contiene al material de pared y al componente activo se lleva a congelamiento a temperaturas entre -90 y -40 ºC para posteriormente trasladarse al liofilizador, el cual se encarga de evaporar el agua congelada mediante un proceso de sublimación a presión de vacío. El producto obtenido se muele y está listo para ser empacado (Zuidam y Shimoni, 2010, p. 22). El proceso de liofilización tiene varias desventajas como son el elevado consumo de energía, el tiempo de proceso y el costo, el cual es 30 a 50 veces más caro que el secado por atomización (Gharsallaoui, Roudaut, Chambin, Voilley y Saurel, 2007, p. 1110).

El atrapamiento por liposomas es la mejor técnica para proteger componentes hidrosolubles (Parra, 2010, p. 5678), ha sido ampliamente utilizado en la industria farmacéutica para microencapsular agentes capaces de detectar células cancerígenas y en la industria cosmética para la estabilización de nutrientes (Gouin, 2004, p. 337). Esta técnica consiste en la formación de vesículas formadas por una membrana, de una o varias capas, constituida por fosfolípidos. Estas vesículas se forman cuando los fosfolípidos se dispersan en un medio acuoso junto con el componente activo y son expuestos a elevadas velocidades de cizallamiento mediante métodos de microfluidización. El principio en el que se fundamentan los liposomas es básicamente la interacción hidrofílica – hidrofóbica

entre los fosfolípidos y las moléculas de agua (Zuidam y Shimoni, 2010, p.20). La principal ventaja de las microcápsulas producidas mediante atrapamiento en liposomas es la estabilidad que poseen en medios con gran actividad de agua; las microcápsulas producidas por lecho fluidizado y mediante secado por atomización proporcionan una gran protección al componente activo en estado sólido pero lo liberan fácilmente en presencia de agua, por otro lado los liposomas proporcionan una protección adicional al poseer una membrana lipídica (Gouin, 2004, p. 338).

El lecho fluidizado originalmente fue desarrollado como una técnica de encapsulación para la industria farmacéutica, aunque hoy en día varios productos fortificados contienen ingredientes encapsulados mediante lecho fluidizado como son ciertas harinas y carnes procesadas. Esta técnica permite suspender el componente activo que se quiere microencapsular en el interior de una cámara a una temperatura y humedad controladas de aire a alta velocidad donde se atomiza el material de pared (Desai y Jin Park, 2005, p.1373). Los materiales de pared que se utilizan en esta técnica suelen ser derivados de la celulosa, dextrinas, lípidos, proteínas y almidones. La velocidad de evaporación del agua en lecho fluidizado puede ser controlada mediante varios factores como la velocidad de atomización, el contenido de agua de la solución encapsulante, el flujo de aire de secado, la humedad del aire dentro de la cámara, etc. (Zuidam y Shimoni, 2010, p. 9).

De todas las técnicas de microencapsulación antes mencionadas el secado por atomización ha tenido un gran éxito en la industria alimenticia debido a su bajo costo, la disponibilidad de equipos a escala industrial, el alto rendimiento y su facilidad de operación (Estevinho et al., 2013, p.142). Esta tecnología ha sido utilizada por décadas en la industria de alimentos. En el año 1950 se iniciaron las primeras investigaciones para microencapsular sabores y protegerlos de la degradación (Gouin, 2004, p.331).

Los productos microencapsulados son ampliamente utilizados en la industria química, farmacéutica, agronómica y alimenticia.

Se pueden microencapsular desde hormonas para reducir el apareamiento de insectos hasta compuestos terapéuticos como proteínas, insulina, hormonas de crecimiento, entre otros componentes para tratar distintas enfermedades. En la industria de alimentos se microencapsulan diversos componentes activos cuya aplicación principal es enriquecer otros productos en polvo como mezclas para sopas instantáneas, mezclas para ponqués, postres, cremas, salsas instantáneas y harinas o para el desarrollo de alimentos funcionales (Dubey et al., 2009, p. 87).

1.3.2. BENEFICIOS DE LA MICROENCAPSULACIÓN

Parra (2010) menciona algunas ventajas de este proceso (p. 5674):

- ✓ Permite introducir los componentes activos en una matriz y conservarlos por mayor tiempo.
- ✓ Protección de componentes activos sensibles a la luz, radiación UV y humedad.
- ✓ Mejora la estabilidad de los materiales que se degradan fácilmente en contacto con el medio ambiente.
- ✓ Permite separar componentes incompatibles.
- ✓ Enmascara sabores y olores desagradables.
- ✓ Permite la liberación controlada del componente activo.
- ✓ Facilita el manejo de la sustancia de interés.

1.3.3. SUSTANCIAS QUE SE MICROENCAPSULAN

Se pueden microencapsular un sinnúmero de componentes activos, como vitaminas, minerales, lípidos (Roccia, Martínez, Llabot y Ribotta, 2014, p.3), carotenos (Rocha, Fávaro-Trindade y Grosso, 2012, p. 39), antocianinas, bacterias (Rosas-Flores, Ramos-Ramírez y Salazar-Montoya, 2013, p.1012) y aromas con la finalidad de proteger dichos componentes y garantizar su liberación en el momento en que sea requerida (Eraso y Herrera, 2013, p. 2).

Los compuestos aromáticos de los alimentos son extraídos y microencapsulados para reducir su volatilidad y controlar su liberación como es el caso del limoneno. Bringas, Expósito, Reineccius, López y Pino (2011), microencapsularon aceite esencial de mandarina mediante secado por atomización a fin de retener los compuestos volátiles y controlar su liberación (pp. 522-525).

Se microencapsulan oleorresinas de especias provenientes de la India debido a su agradable aroma similar al original. El carcamomo por ejemplo, conocida como “la reina de las especias”, posee un encatador sabor y aroma que imparte a los alimentos. Se microencapsula para proteger su componente activo, ciertos terpenoides, de la degradación debido a las elevadas temperatura durante los procesos de cocción y cambios químicos debido a procesos que involucran pH inferiores a 4, como son la elaboración de bebidas y preparación de frutas deshidratadas (Krishnan, Kshirsagar y Singhal, 2005, pp. 312-314).

Alvarenga Botrel et al. (2012), microencapsularon aceite esencial de orégano por su amplio espectro de actividad biológica, ya que tiene propiedades antifúngicas, bactericidas y una gran capacidad antioxidante (pp. 2290-2295).

Las vitaminas se microencapsulan para protegerlas de las reacciones de oxidación y alteraciones debidas a tratamientos térmicos, como es el caso de las vitamina C, o para hacerlas solubles en matrices en las que naturalmente no lo serían, como las vitaminas A, D, E y K (Schrooyen, Van Der Meer y De Kruif, 2001, p. 476).

Esta tecnología también se aplica para encapsular minerales como el hierro, y evitar la oxidación catalítica de las vitaminas, aminoácidos y ácidos grasos ocasionada por este mineral en los alimentos fortificados como las harinas (Garsallaoui et al., 2007, pp. 1116, 1117).

La microencapsulación ha sido utilizada sobre microorganismos benéficos con la finalidad de mejorar su sobrevivencia en los alimentos lácteos y en su viaje por el tracto gastrointestinal (Cook, Tzortzis, Charalampopoulos y Khutoryanskiy, 2012,

pp. 56-67). Por ejemplo, el Lactobacillus helveticus y el Lactobacillus delbrueckii, que son bacterias ácido lácticas ampliamente usadas en la elaboración de productos fermentados como el queso y el vino, se microencapsulan con la finalidad de reducir el número de células que se pierden durante los procesos de elaboración de estos productos y además garantizar su resistencia a las condiciones adversas en el tracto gastrointestinal (Rosas-Flores et al., 2013, pp. 1012-1016).

Se microencapsulan lípidos de interés médico como los ácidos grasos poliinsaturados omega 3 o el aceite del hígado del bacalao, ampliamente utilizado en preparaciones alimenticias, nutraceúticas y farmacéuticas, a fin de evitar las reacciones de oxidación, prolongar su tiempo de vida útil, enmascarar los sabores desagradables y facilitar su manejo al momento de fortificar las fórmulas infantiles o productos lácteos (Schrooyen et al., 2001, p. 477). Aghbashlo, Mobli, Madadlou y Rafiee (2013), investigadores de la Facultad de Ingeniería y Tecnología Agrícola de la Universidad de Tehran, estudiaron las mejores condiciones para microencapsular este aceite y evitar la oxidación a la que es susceptible (pp. 1708-1710).

Calvo, Hernández, Lozano y González-Gómez (2010), investigadores del Instituto Tecnológico Alimentario de Extremadura (INTAEX), han enfocado sus estudios en la microencapsulación de aceites vegetales con alto grado de insaturación, como el aceite de oliva, en una respuesta a la demanda por parte de las empresas que comercializan productos liofilizados en Europa (pp. 853-857). El aceite de linaza también es microencapsulado debido a la presencia de ácidos grasos insaturados, alrededor del 57 % de su materia grasa, la presencia de omega 3 lo cataloga dentro de los alimentos funcionales (Carneiro, Tonon, Grosso y Hubinger, 2013, pp. 444-446).

Otro aceite rico en ácidos grasos insaturados es el aceite de aguacate. Los beneficios y las cualidades de este aceite han sido muy estudiados en México y Nueva Zelanda. Bae y Lee (2008), investigadores de la Universidad Massey de

Nueva Zelanda, microencapsularon este aceite en una matriz formada por una aislado protético del suero de la leche y maltodextrina DE 5 (p. 550).

1.3.4. SECADO POR ASPERSIÓN COMO UN PROCESO PARA MICROENCAPSULACIÓN DE COMPONENTES ACTIVOS

1.3.4.1 Secado por aspersión

La tecnología de secado por aspersión es utilizada en farmacéutica, bioquímica y la industria alimenticia para obtener sustancias en polvo.

Esta tecnología se utiliza en la industria alimenticia para convertir líquidos en polvo y como método de encapsulación de componentes volátiles como fragancias, aceites esenciales y componentes termosensibles como ciertas vitaminas (Benita, 2006, p. 113; Gouin, 2004, p. 331). El componente activo puede ser encapsulado mediante secado por atomización si se rocía una suspensión o emulsión de dicho componente contenida en una solución de uno o más polímeros orgánicos (Kissel, Maretschek, Packhauser, Schnieders y Seidel, 2006, p. 113).

1.3.4.2 Principios del proceso de microencapsulación mediante secado por atomización

El proceso consta de cuatro etapas básicas: preparación de la emulsión entre el material de pared y el componente activo que queremos encapsular, homogenización de la dispersión, atomización y deshidratación de las partículas atomizadas (Gharsallaoui et al., 2007, p. 1111; Parzanese, 2010, p. 7).

El proceso consiste en alimentar al secador de atomización el componente activo en estado de suspensión o emulsión según corresponda, la turbina del equipo hace que se formen finas gotas que entran en contacto con una corriente de gas caliente, generalmente aire, se produce una rápida evaporación del solvente y se

forma una fina película del material de recubrimiento alrededor de una micro gota del componente (Parra, 2010, p. 5678). Un ejemplo gráfico del proceso se observa en la Figura 1.5. López y Gómez (2008) (citados en Parra 2010) mencionan que en comparación a otros métodos, mediante el secado por aspersión se obtiene una eficiencia de encapsulación mayor, alrededor del 90 %.

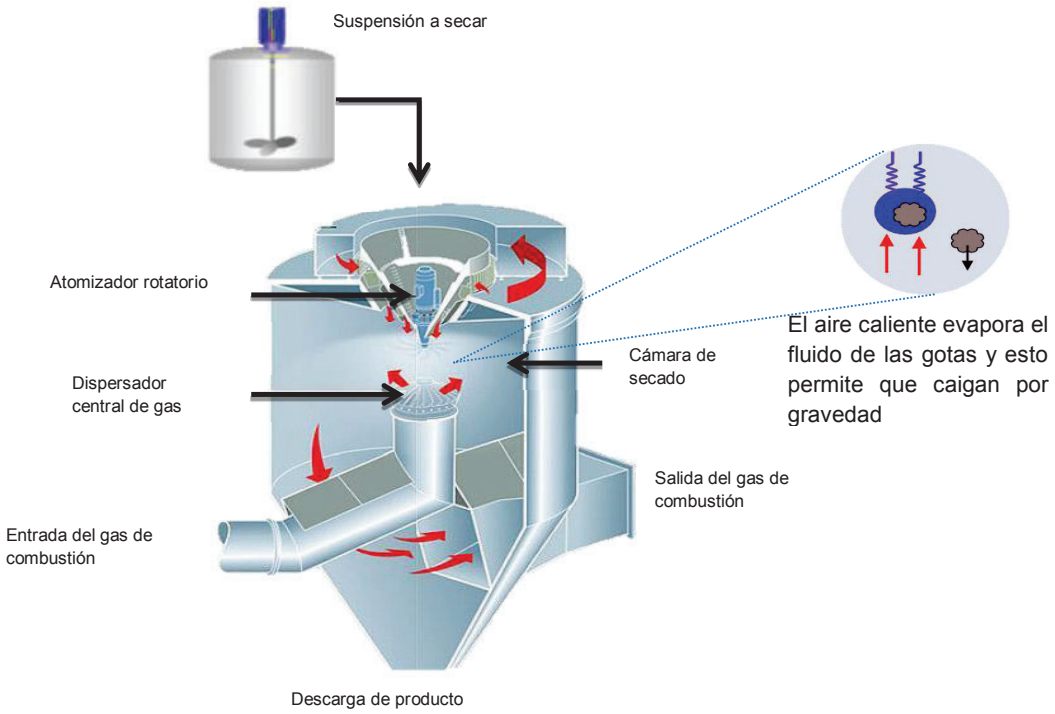


Figura 1.5. Esquema ilustrativo del proceso de microencapsulación por secado por atomización
(Modificado de GEA Process Engineering, 2014)

La selección del tipo de atomizador afectará directamente al tamaño de partícula deseado. De acuerdo al tamaño que se quiera obtener y a los procesos subsiguientes se seleccionarán ya sea un atomizador de disco rotatorio para tamaños de partícula de 200 um o uno en forma de boquilla para tamaños de partícula de 10 um.

En cuanto a la cámara de secado se pueden encontrar comercialmente dos tipos de secadores, los que funcionan en forma de contra-corriente y los co-corriente. En un equipo co-corriente el aire de secado y el líquido pulverizado pasan al

secador en la misma dirección, mientras que en un equipo contra-corriente el producto pulverizado y la corriente de aire caliente están en direcciones opuestas. El diseño contra-corriente se prefiere cuando se tienen productos con una baja temperatura de transición vítrea y que tienden a pegarse al interior de la cámara (Benita, 2006, p.115).

Una gran limitante del proceso es el número de materiales de pared disponibles, puesto que la mayoría de procesos de secado por pulverización en la industria alimenticia utiliza agua como solvente de sus formulaciones de alimentación, por tanto el material que se elija como pared deberá ser altamente soluble en agua.

1.3.4.3 Preparación de la emulsión inicial

Una emulsión es un sistema termodinámicamente inestable que se forma por la mezcla de dos líquidos inmiscibles mediante un equipo homogenizador (Castañeta, Gemio, Yapu y Nogales, 2011, p. 136). Una emulsión puede involucrar uno o varios pasos en su formación, esto depende de la naturaleza del material inicial y de la tecnología para su elaboración (McClements, 2004, p. 233).

En el proceso de microencapsulación la emulsión inicial tiene un rol importante en la retención del componente activo y en el contenido de aceite superficial del microencapsulado.

Para mejorar la capacidad de retención de la microcápsula se debe preparar una microemulsión. Una microemulsión consta de al menos tres componentes, una fase acuosa, una fase oleosa y el surfactante (Najjar, 2012, p. 3) y sus tamaños de gota van de 100 a 500 nm (Champagne y Fustier, 2007, p. 186). Para la preparación de este tipo de emulsiones se realiza una emulsión primaria de los componentes inmiscibles mediante agitación mecánica como se observa en la Figura 1.6, seguida de una reducción del tamaño del glóbulo graso por microfluidización ya sea a elevadas revoluciones por minuto, a altas presiones o

por técnicas de formación micelar mediante equipos de ultrasonido de alta intensidad (McClements, 2004, p. 235).

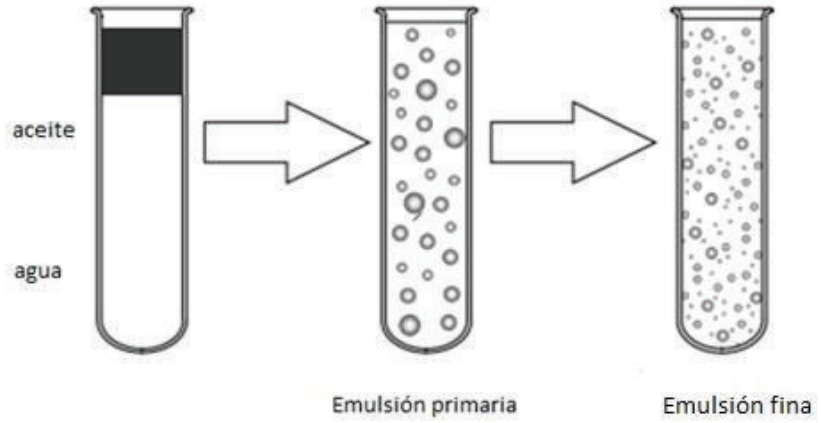


Figura 1.6. Conversión de dos líquidos inmiscibles en una emulsión por medio de dos pasos. Formación de la emulsión primaria o emulsión gruesa y reducción del tamaño del glóbulo graso
(McClements, 2004, p.234)

Parámetros importantes a considerar en la preparación correcta de una emulsión son el tamaño de gota, la concentración de sólidos, la viscosidad y el método de preparación (Jafari, Assadpoor, He y Bhandari, 2008, p. 823).

El contenido de sólidos influye en la capacidad de retención del componente activo y en el tiempo que se tarda en formarse el film protector de la microcápsula. Así mismo, un incremento en la viscosidad de la emulsión inicial ayuda a reducir la circulación interna de las gotas y a la rápida formación de la membrana semi permeable (Jafari et al., 2008, p. 824).

1.3.4.4 Condiciones de operación

Los parámetros más importantes a tener en cuenta son las temperaturas de entrada y salida del aire de la cámara de secado, el flujo de alimentación y acondicionamiento de la materia prima.

La temperatura es un parámetro importante ya que influye sobre las propiedades mecánicas del polímero y desempeña un papel importante en la adhesión de la película de polímero sobre el componente activo. A medida que la temperatura de secado aumenta, lo hace también la fuerza de cohesión del polímero y la de adhesión de la película (Kuang, Oliveira y Crean, 2010, p. 961).

La temperatura de entrada del aire es directamente proporcional a la velocidad de secado y al contenido final de agua en el producto, si la temperatura de entrada es demasiado baja se obtendrán partículas con mayor contenido de agua y tenderán a aglomerarse con facilidad, por otro lado si la temperatura es demasiado alta ocasionará roturas en la membrana y una liberación temprana del componente activo y por ende su rápido deterioro (Gharsallaoui et al., 2007, p.1111).

Roccia et al. (2014), estudiaron la influencia de las condiciones de operación del proceso de secado para obtener microcápsulas de aceite de girasol. Las emulsiones contenían 6,00 % (w/w) de maltodextrina (MD) DE 15, 3,00 % (w/w) de Hidroxipropil metilcelulosa (HPMC), 0,15 % (w/w) de lecitina de soya y aceite de girasol, la proporción de MD/HPMC:aceite fue de 2:1. Las emulsiones se prepararon mediante un equipo Ultra-Turrax T18 a 18 000 rpm por 10 min a 10 ºC para posteriormente ser secadas en un equipo secador por atomización modelo Büchi B-290, equipado con una boquilla de doble fluido (0,5 mm de diámetro) y a la presión de 6 bar. Obtuvieron un rendimiento del 39,88 % y una humedad en el rango de 2,35 a 4,86 % que corresponden a los mejores valores del experimento.

Los investigadores encontraron que la humedad de las partículas estaba directamente afectada por la temperatura de entrada, el flujo de aire del atomizador y la velocidad de alimentación. Obtuvieron una eficiencia (EM) de alrededor del 87,00 % que no se vio afectada por las condiciones de operación ya que es una característica que depende más de la emulsión inicial (pp. 1-9).

Aceites como el de pescado se microencapsulan por secado por aspersión a 180 ºC, 0,6 m^3/h de flujo del aire del atomizador y 1,83 $\times 10^{-5}$ kg/s de

alimentación. Aghbashlo et al. (2013), realizaron el experimento en un secador equipado con un atomizador de boquilla de dos fluidos (0,7 mm de diámetro). Obtuvieron una eficiencia de encapsulación (EM) del 85,67 % y valores de peróxido entre 5,6 y 6,5 meq O_2/kg. Encontraron que al incrementar la temperatura de entrada del aire de secado y la velocidad de aspiración del atomizador se incrementa también la eficiencia de encapsulación debido a la rápida formación de la membrana de recubrimiento. Sin embargo también se incrementa el índice de peróxido ya que esto provee mayor energía para desarrollar reacciones de oxidación de los lípidos (pp. 1708- 1712).

Laohasongkram, Mahamaktudsanee y Chaiwanichsiri (2011), microencapsularon aceite de macadamia con caseinato de sodio (NaCn) y maltodextrina DE 18 (MD) como materiales de pared, 20 % (w/w), y lecitina como emulsionante, 1 % (w/w). Las mejores condiciones del proceso fueron con una proporción NaCn:MD 1:4, la relación de material de pared a núcleo de 60:40, presión de homogenización de 200 bar, alimentación al atomizador de 1,1 kg/h y temperatura de entrada de 167 ºC. Encontraron en sus estudios que los parámetros que más influyen sobre la estabilidad de la emulsión son la proporción material de pared: núcleo y la presión de homogenización. El tamaño de gota disminuye conforme lo hace la relación pared a núcleo y a medida que la presión de homogenización aumenta, lo que resulta en una emulsión más estable. En el proceso de secado los parámetros más relevantes fueron la velocidad de alimentación y la temperatura del aire de secado a la entrada; se encontró que conforme se incrementa la velocidad de alimentación, también lo hacen el contenido de humedad, la densidad y la eficiencia de la microencapsulación, una situación contraria ocurre a medida que se eleva la temperatura del de aire de entrada (pp. 1661-1663).

1.3.4.5 Selección del material de pared

Gharsallaoui et al. (2007) menciona que en un proceso de microencapsulación la selección del material de pared es importante tanto para la eficiencia del proceso como para la estabilidad de las microcápsulas (p. 1113). La selección del material

de pared ideal se lo realiza mediante procesos de prueba y error, las microcápsulas obtenidas se someten a pruebas de eficiencia, solubilidad, protección del componente activo y estabilidad a diferentes condiciones de almacenamiento.

Felton et al. (1999) (citado en Kuang et al., 2010) menciona que un requisito para el recubrimiento es la buena adhesión entre el polímero y el material de núcleo. La mala adhesión del material de pared puede afectar a la estabilidad del componente activo debido a la acumulación de humedad en la interfase núcleo-revestimiento (p. 962).

El material de pared se selecciona de una gran variedad de polímeros naturales y sintéticos, algunas de las características que debe poseer un material de pared destinado a la microencapsulación de alimentos son:

- ✓ Baja viscosidad a altas concentraciones.
- ✓ Debe ser soluble en los solventes utilizados en la industria alimenticia.
- ✓ Deber tener gran estabilidad y capacidad emulsionante.
- ✓ No debe reaccionar con el componente activo.
- ✓ No debe permitir la separación de lípidos durante la deshidratación.
- ✓ Debe tener la capacidad de proveer la máxima protección al componente. activo contra las condiciones ambientales.
- ✓ No poseer sabor.
- ✓ Ser de grado alimenticio.
- ✓ Ser de bajo costo.

Los carbohidratos son ampliamente utilizados en la microencapsulación de alimentos mediante secado por atomización, son considerados excelentes encapsulantes por su baja viscosidad y su alto contenido de sólidos. Sin embargo, tienen pobres propiedades interfaciales y deben ser utilizados con otros componentes como proteínas y gomas (Gharsallaoui et al., 2007, p. 1114; Parra, 2010, p. 5674).

Fernandes, Borges y Botrel (2014), utilizaron goma arábiga (GA), almidón modificado, inulina y maltodextrina DE 10 (MD) para microencapsular aceite esencial de romero en su afán de estudiar la importancia del uso de carbohidratos con gran capacidad emulsionante y su relación con la retención de compuestos volátiles. Encontraron que el uso de inulina disminuye la humectabilidad y la higroscopicidad de las partículas pero disminuye la eficiencia de la microencapsulación. Por otra parte, la mezcla de almidón modificado y maltodextrina en proporción 1:1 les permitió obtener una eficiencia en la retención de aceite del 60,22 %; esta combinación es una buena alternativa para microencapsular aceites esenciales y retener los compuestos volátiles (p. 525).

Las gomas son polímeros naturales biodegradables ampliamente utilizados en los procesos de microencapsulación por su viscosidad, solubilidad y capacidad de formar emulsiones.

La más conocida y utilizada en la industria es la goma arábiga también conocida como goma acacia. Esta goma es ampliamente apreciada por su solubilidad en agua, por su capacidad de formar film y por ser un agente emulsionante muy efectivo, produce emulsiones estables con aceites alimenticios en un amplio rango de pH sin la necesidad de añadir un agente estabilizante secundario (Gracia, 2000, pp. 6-7; I Ré, 1998, p. 1206)

Las proteínas debido a las propiedades funcionales que poseen son un buen material a la hora de microencapsular un alimento, exhiben muchas de las propiedades deseables en un material de pared, como la solubilidad, su interacción con el agua y su capacidad para formar película (Jafari, Assadpoor, He y Bhandari, 2008, p. 821). Las proteínas más utilizadas como material de pared en la microencapsulación mediante secado por atomización son las del suero de la leche y la gelatina. La gelatina se utiliza por su solubilidad en agua, capacidad emulsionante y de formación de película (Gharsallaoui et al., 2007, p. 1115; Parra, 2010, p. 5675).

Rodea-González et al. (2012), microencapsularon aceite de chía en una matriz compuesta de 25,0 % (w/w) de sólidos de pared y 0,3 % (w/w) de azida de sodio como agente antimicrobiano. Prepararon soluciones encapsulantes a diferentes proporciones de concentrado proteico del suero de la leche (CPS), goma de mezquite (GM) y goma de arábiga (GA). Las emulsiones obtenidas resultaron ser muy estables independientemente del material de pared que utilizó ya que no presentaron tendencias a la floculación. La estabilidad de estas emulsiones se atribuye a las propiedades surfactantes de la GA, GM y CPS (pp.103-108).

Aghbashlo et al. (2013) utilizaron una matriz de leche desnatada en polvo para microencapsular aceite de pescado, emplearon azida de sodio y buffer fosfato como agentes antimicrobianos y citrato de sodio como conservante. La proporción de aceite, leche desnatada en polvo y agua en la emulsión que mejores resultados presentó fue de 10:20:70 (pp. 1708-1710).

Los almidones hidrolizados como la maltodextrina son polisacáridos obtenidos por hidrólisis ácida o enzimática del almidón de maíz (Yañez et al., 2008, p. 317), son una buena alternativa a la hora de tener procesos más eficientes y reducir costos, no aportan sabor al producto final y permiten tener una alta concentración de sólidos y viscosidades bajas. Proveen mejor estabilidad oxidativa al microencapsular aceites comestibles pero tienen bajas propiedades emulsionantes (Gharsallaoui et al. 2007, p. 1114; I Ré, 1998, p. 1207).

El grado de protección está directamente relacionado con el equivalente de dextrosa (DE) del almidón hidrolizado (Jafari et al., 2008, p.818). En los procesos de microencapsulación se utilizan maltodextrinas con equivalentes de dextrosa entre 10 y 20, mientras más alto es el equivalente de dextrosa del almidón representa mejor barrera contra el oxígeno (Gharsallaoui et al. 2007, p. 1114).

García, Gutiérrez, Nolasco, Carreón y Arjona (2005), microencapsularon aceite de hígado de tiburón, 25 % (w/w), en una matriz compuesta de 8 % (w/w) de goma arábiga (GA), 30 % (w/w) de maltodextrina DE <20 (MD) y 2% (w/w) de gelatina base. La eficiencia de microencapsulación resultó en un 82 %, además se mejoró

la estabilidad oxidativa del aceite y se obtuvieron valores de peróxido de alrededor de 2,3 meq O_2/kg después de 60 días de almacenamiento a temperatura ambiente (pp. 698-700).

Calvo, Hernández, Lozano y González-Gómez (2010), encontraron que el mejor rendimiento (49,49 %), la mejor eficiencia (52,98 %) y la menor cantidad de aceite superficial (46,98 %) para la elaboración de microcápsulas de aceite de oliva extra virgen se tienen cuando se combinan proteínas y polisacáridos como materiales de pared. Los porcentajes de dicha formulación fueron 5,88 % de aceite, 5,88 % de caseinato de sodio, 5,88 % de lactosa y 82,36 % de agua (pp. 853-857). En otro estudio se evaluaron 4 modelos de materiales de pared, su influencia sobre las características de las microcápsulas y su estabilidad oxidativa. Se estudió un modelo basado en proteínas (50 % aceite, 25 % caseinato de sodio y 25 % maltodextrina), otro en proteínas con butilhidroxitolueno (BHT), uno basado en carbohidratos (39,6 % aceite, 19,8 % maltodextrina y 39,6 % carboximetilcelulosa) y el último a base de carbohidratos y BHT. El compuesto BHT fue empleado como antioxidante a una concentración de 200 ppm a fin de evitar la degradación oxidativa de los ácidos grasos insaturados. Los resultados mostraron que la presencia del antioxidante BHT ayuda a preservar la constitución química del aceite, parámetro que fue más evidente en el modelo basado en carbohidratos.

Por otro lado, con el modelo de proteínas se obtuvieron mejores resultados en cuanto a la preservación del aceite independientemente de la adición del antioxidante BHT (Calvo, Castaño, Lozano y González-Gómez, 2012, pp. 257-261).

En la Tabla 1.6 se puede observar los materiales de pared y las condiciones de secado para la microencapsulación de otros componentes aceites comestibles y aceites esenciales.

Tabla 1.6. Materiales de pared utilizados para microencapsular algunos ingredientes alimenticios y la temperatura a la que se secan por atomización

MATERIAL DE NÚCLEO	MATERIAL DE PARED	TEMPERATURA DEL AIRE A LA ENTRADA (ºC)
Aceite esencial de orégano, citronela y mejorana	Aislado proteico del suero de la leche y otras proteínas de la leche	185-195
Aceite de soya	Caseinato de sodio y carbohidratos	180
Licopeno	Gelatina y sucrosa	190
Aceite de pescado	Almidones, jarabe de glucosa, azúcar de remolacha	170
Aceite esencial de cardamomo	Goma de mezquite	195-205
Oleorresina de cardamomo	Goma Arábiga, almidón modificado y maltodextrina	176-180
D-limoneno	Goma Arábiga, maltodextrina y almidón modificado	200
Ácidos grasos de cadena corta	Maltodextrina y goma arábiga	180

(Gharsallaoui et al., 2007, p.1112)

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1. MATERIALES

2.1.1. MATERIALES

La presente investigación se realizó en la planta piloto del Departamento de Ciencia de Alimentos y Biotecnología (DECAB) de la EPN y en el laboratorio de análisis de alimentos del mismo. Para el desarrollo de la investigación se utilizaron como materia prima aceite de aguacate calidad Premium marca Mira, goma arábiga y maltodextrina DE 10. Para el almacenamiento se utilizaron bolsas polilaminadas.

2.1.2. REACTIVOS

- ✓ Ácido clorhídrico, grado ACS, J.T.Baker
- ✓ Alcohol etílico, grado ACS, HACH
- ✓ Éter etílico, grado ACS, Merck
- ✓ Éter de petróleo, grado ACS, Merck
- ✓ Hexano, pro análisis, Merck
- ✓ Cloroformo, pro análisis, Merck
- ✓ Ácido acético glacial, grado ACS, Merck
- ✓ Yoduro de Potasio, pro análisis, Merck
- ✓ Tiosulfato de sodio, grado ACS, J.T.Baker

2.1.3. EQUIPOS

- ✓ Balanza analítica, Citizen, 220 g ± 0,0001 g
- ✓ Baño María, BUCHI, modelo 461
- ✓ Bomba peristáltica, Masterflex, modelo 77201-60
- ✓ Caracterizador de partículas, BROOKHAVEN, modelo 90 Plus

- ✓ Equipo de extracción Soxhlet, J.P. Selecta, Nº serie 0501509
- ✓ Estufa de vacío, HERAEUS, modelo RVT 360
- ✓ Estufas, BLUE M, SEMATEC y HERAEUS
- ✓ Microscopio electrónico de barrido, ASPEX, versión 3.0
- ✓ Plancha de calentamiento COLE-PARMER INSTRUMENT Co.
- ✓ Rotavapor, BUCHI, modelo EL 131
- ✓ Secador por atomización, Niro atomizer, modelo Minor
- ✓ Unidad de ultrasonido, MISONIX
- ✓ Viscosímetro digital, BROOKFIELD, modelo DV-II

2.2. OBTENCIÓN DE ACEITE DE AGUACATE MICROENCAPSULADO

2.2.1. PREPARACIÓN DE LAS EMULSIONES

Se prepararon soluciones encapsulantes con 30 % de sólidos, en las que se utilizaron goma arábiga y maltodextrina como materiales de pared. Se realizaron 4 formulaciones en las que las proporciones goma arábiga/maltodextrina fueron 1:0, 1:1, 2:3 y 3:2, como se muestra en la Tabla 2.1, en porcentajes peso a peso.

Para la preparación de 984 ± 17,4 g de emulsión, en cada formulación se utilizó 637 ± 0,7 g de agua destilada. En las 4 formulaciones se disolvió la goma arábiga en 320 ± 2,0 g de agua a 65 ºC; seguido y en otro recipiente, se disolvió la maltodextrina en el agua destilada restante a 65 ºC, ambos procesos involucraron agitación constante en una plancha de calentamiento.

Se dejó enfriar a temperatura ambiente ambas soluciones. Una vez frías se adicionó el aceite crudo de aguacate a la solución de goma arábiga. La cantidad de aceite que se añadió en todas las formulaciones fue igual y correspondió al 50 % de los materiales de pared que se utilizaron en cada mezcla. La mezcla se mantuvo con agitación constante hasta obtener una suspensión uniforme. A la suspensión de goma y aceite se añadió la solución de maltodextrina de manera uniforme y con agitación constante.

Finalmente esta suspensión se llevó a un proceso de microfluidización en un ultraturrax por 2 min a 13 000 rpm, 3 min a 17 000 rpm y 3 min a 22 000 rpm a fin de disminuir el tamaño de los glóbulos grasos y tener una emulsión más estable que se conoce como emulsión fina.

Tabla 2.1. Formulación de las emulsiones de aceite de aguacate preparadas a diferentes proporciones de goma arábiga y maltodextrina DE 10, previo al proceso de secado por atomización

Proporción goma arábiga / maltodextrina	Goma arábiga reemplazada por maltodextrina (%)	Aceite (%)	Goma arábiga (%)	Maltodextrina (%)	Agua (%)
1:0	0	13,04	26,08	0,00	60,88
3:2	40	13,04	15,65	10,43	60,88
1:1	50	13,04	13,04	13,04	60,88
2:3	60	13,04	10,43	15,65	60,88

2.2.2. VISCOSIDAD DE LA EMULSIÓN

El análisis de la viscosidad de cada emulsión se lo realizó con un viscosímetro digital marca BROKKFIELD modelo DV-II a la velocidad de 50 rpm con el spindle #02 del RV SPINDLE SET de BROKKFIELD ENGINEERING LABS. INC y a la temperatura de 20 ºC.

2.2.3. ANÁLISIS DE TAMAÑO DE PARTÍCULA Y MICROSCOPÍA DE LAS EMULSIONES

El tamaño de partícula de las 4 formulaciones fue medido a 20 ºC mediante dispersión de luz láser con el caracterizador de partículas 90 Plus en el Laboratorio de Nuevos Materiales de la facultad de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, el análisis se lo realizó de acuerdo con las normas

internacionales ISO 13321 para análisis granulométrico e ISO 22412 para análisis de tamaño de partícula por dispersión de luz láser.

Se colocó 1 mL de emulsión en una celda de 3 mL y se diluyó con agua destilada, la mezcla fue homogenizada en un equipo de ultrasonido marca MISONIX al 20 % de intensidad por 1 min. Las muestras se analizaron mediante el software, 90 Plus Particle Sizing, instalado en un computador conectado al sistema.

Las emulsiones fueron examinadas visualmente con un microscopio equipado con una cámara SONY Cyber-shot. Se tomó 1 mL de emulsión como muestra y se diluyo con agua destilada en un tubo de ensayo. Se colocó una gota de esta solución en un porta objetos, se cubrió y se observó al microscopio. Se utilizaron cristal violeta y lactofenol como colorantes (Bae y Lee, 2008, p.551).

2.2.4. SECADO POR ATOMIZACIÓN

Las formulaciones obtenidas se secaron en un equipo piloto Niro atomizer, modelo Minor.

Las emulsiones fueron alimentadas al equipo mediante una bomba peristáltica, se pulverizó aproximadamente 450 g de cada formulación a dos temperaturas de prueba, T_1= 150 °C y T_2= 180 °C, con una velocidad de alimentación de 10 mL/min, 5 kg/cm^2 de presión de aire (Ortega, Montelongo y Roncal, 2009, p.20; López, Marquez, Mayo, Toledo y Pérez, 2009, p.629) y 35 000 rpm en el atomizador.

Las emulsiones se mantuvieron con agitación constante durante todo el proceso de pulverización con la finalidad de que se mantengan homogéneas y no haya separación de aceite.

El polvo obtenido de cada tratamiento fue transferido a frascos limpios, estériles y secos, de capacidad aproximada dos veces el volumen de la muestra, se taparon y almacenaron a 4 ºC hasta su respectivo análisis.

2.2.5. ANÁLISIS DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA DEL ACEITE MICROENCAPSULADO Y MICROSCOPÍA

El tamaño de partícula del polvo se analizó por dispersión de luz láser en el caracterizador de partículas del Laboratorio de Nuevos Materiales de Ingeniería Mecánica de la Escuela Politécnica Nacional de acuerdo con las normas internacionales ISO 13321 para análisis granulométrico e ISO 22412 para análisis de tamaño de partícula por dispersión de luz láser, para lo cual se disolvieron 10 mg de muestra en 20 mL de agua destilada y se homogenizó mediante un sonicador durante 1 min al 20 % de intensidad.

La microestructura del polvo se analizó por microscopía electrónica de barrido (SEM) en el laboratorio antes mencionado. Se tomaron las muestras de cada uno de los contenedores mediante una cinta adhesiva de doble cara suministrada con el equipo y se analizaron mediante el software instalado en el sistema, las muestras se visualizaron a un voltaje de 15 kV a 250X.

Las micrografías SEM que representan la microestructura del polvo se obtuvieron con el software, Perception ASPEX Engine, instalado en un computador conectado al sistema.

2.2.6. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

Para determinar la humedad de las partículas de polvo se siguió el proceso que se detalla en la AOAC 934.01 (2005). Se pesaron aproximadamente 2 g de muestra en cajitas de aluminio y se llevaron a la estufa a 100 ºC y 100 mm Hg de presión por un tiempo de 4 h, las cajitas se dejaron enfriar en un desecador por 45 min y se registró su peso. La humedad se calculó de acuerdo a la ecuación [2.1].

$$H = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m} \times 100 \qquad [2.1]$$

Donde:

H = humedad, en porcentaje de masa
m = masa de la caja vacía, en g
m1 = masa de la caja y la muestra, antes del calentamiento, en g
m2 = masa de la caja y la muestra, después del calentamiento, en g

2.2.7. HUMECTABILIDAD

Para medir la humectabilidad del microencapsulado se siguió el proceso que se detalla en la norma técnica ecuatoriana INEN 2469 para la determinación de humectabilidad en leche en polvo instantánea.

Se calentó 100 mL de agua destilada a baño María hasta que alcance los 25 ºC y se mantuvo a temperatura constante. Se pesó aproximadamente 1 g de polvo de cada tratamiento y se dejó caer la muestra en los vasos de manera homogénea. Una vez añadida la muestra de polvo se puso en marcha el cronómetro y se tomó el tiempo en minutos que se demoraron las partículas en mojarse por completo.

2.2.8. DENSIDAD APARENTE SUELTA Y COMPACTADA

La densidad aparente suelta fue determinada con la metodología que se describe en Carneiro, Tonon, Grosso y Hubinger (2013), se llenaron probetas de 50 mL, previamente taradas, con las muestras de aceite microencapsulado y se registró su peso en gramos (p.445).

En cuanto a la densidad compactada, se empleó el método descrito en Aghbashlo, Mobli, Madadlou y Rafiee (2012), se pesó 2 g de cada muestra en probetas de 10 mL y fue determinada por el volumen que ocuparon las muestras

en la probeta después de 50 golpes contra una superficie horizontal (p.1563). Las densidades aparentes, suelta y compactada se calcularon mediante la relación de la masa sobre el volumen que ocuparon las muestras en el recipiente.

2.2.9. CONTENIDO DE ACEITE TOTAL

Para medir el contenido de aceite total o extracto etéreo se tomó como referencia el método AOAC 922.06 (2005) para determinación de grasa total por hidrólisis ácida.

Se pesaron aproximadamente 2 g de cada muestra en vasos de 50 mL, se adicionó 2 mL de alcohol etílico y 10 mL de ácido clorhídrico, se mezcló y se llevó a baño María por 40 min, se añadió 10 mL de alcohol y se dejó enfriar.

Cada tratamiento se trasvasó a tubos Mojonnier y se realizaron 4 lavados con éter etílico y éter de petróleo y se trasvasaron a vasos previamente pesados donde se dejó evaporar el solvente por aproximadamente 1 h y finalmente se llevó a la estufa a 100 ºC por 1 h.

2.2.10. CONTENIDO DE ACEITE SUPERFICIAL

Para medir el contenido de aceite presente en la superficie del polvo se siguió el proceso que se describe en Calvo et al. (2010). Se pesó 2 g de muestra en un frasco de vidrio con tapón de rosca y se añadió 15 mL de hexano. Se llevó a un agitador de vórtice durante 2 min a temperatura ambiente para extraer el aceite libre, la mezcla se decantó y filtró a través de papel filtro, se recogió el polvo y se enjuagó 3 veces con 20 mL de hexano (p. 853).

El polvo se secó en la estufa a 60 ºC para eliminar el solvente residual y se registró el peso final, cada muestra se evaluó por duplicado.

La eficiencia de la microencapsulación se determinó de acuerdo a la ecuación [2.2]:

$$EM = \frac{AT - AS}{AT} \times 100 \qquad [2.2]$$

Donde:

EM = eficiencia de la microencapsulación,en porcentaje de masa
AT = aceite total retenido, en g
AS = contenido de aceite superficial, en g

Para el diseño experimental y el análisis estadístico de los resultados obtenidos, se utilizó el programa STATGRAPHICS CENTURION XV.LI Plus Versión 5,1 para Windows.

2.3. ESTABILIDAD DEL ACEITE MICROENCAPSULADO

2.3.1. PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS

Con base en los resultados del análisis estadístico se estudió la estabilidad del producto obtenido, para lo cual se empacó 40 g de polvo en un empaque polilaminado de polietileno, aluminio y polipropileno, a fin de simular su empaque industrial y controlar la influencia de la humedad relativa sobre los resultados.

Además se colocó aceite de aguacate, como muestra control, en frascos ámbar, similares a su envase original. Cada muestra se realizó por duplicado y fueron almacenadas a tres condiciones (30 ± 2 ºC, 40 ± 2 °C y 60 ± 2 ºC) a fin de realizar un estudio acelerado de estabilidad del producto.

2.3.2. DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD E ÍNDICE DE PERÓXIDO

Para determinar la humedad de las partículas de polvo en almacenamiento se siguió el proceso que se detalla en el método AOAC 934.01 (2005).

Para determinar el índice de peróxido de las muestras de polvo primero se extrajo el aceite del polvo seco por medio del método AOAC 920.85 (2005).

Se pesó aproximadamente 15 g de polvo seco de cada muestra y se introdujo en thimbles de celulosa, los thimbles con la muestra se colocaron en el equipo de extracción Soxhlet. La extracción se la realizó con 200 mL de hexano contenidos en balones de 250 mL previamente pesados. El proceso de extracción de la grasa duró aproximadamente 4 h.

Los balones con hexano y la muestra de grasa se dejaron enfriar por 45 min antes de su recuperación en un rotavapor. El proceso de recuperación duró aproximadamente 5 min por muestra. Una vez separada la grasa del hexano se llevó a una estufa a 100 ºC por 45 min.

Para medir el índice de peróxido de las muestras se siguió el proceso que se detalla en el método AOAC 965.33 (2005). Se pesó 5 ± 0,5 g de muestra de aceite en Erlenmeyers de 250 mL. Se añadió 30 mL de una mezcla de ácido acético-cloroformo (3:2) y se agitó para disolver la mezcla. Se añadió 0,5 mL de una solución saturada de yoduro de potasio (KI), la mezcla se agitó y se almacenó en la oscuridad por 1 min, luego de lo cual se añadió 30,0 mL de agua y 0,5 mL de una solución de almidón al 1 % y finalmente se tituló con tiosulfato de sodio ($Na_2S_2O_3$) 0,1 M hasta obtener una coloración amarilla clara.

El índice de peróxido se calculó con la fórmula [2.3]:

$$IP = \frac{S \times M \times 1000}{m} \qquad [2.3]$$

Donde:

IP = índice de peróxido, en miliequivalentes de peróxido/kg de aceite
S = $Na_2S_2O_3$ gastados, en mL
M = molaridad de la solución de $Na_2S_2O_3$
m = muestra de polvo seco, en g

2.4. DISEÑO DE UNA PLANTA PARA LA PRODUCCIÓN DE ACEITE DE AGUACATE MICROENCAPSULADO

Para diseñar la planta de producción de aceite de aguacate microencapsulado de UYAMAFARMS S.A. se consideró que se procesará el 10 % de la producción total de aceite de la empresa, lo que corresponde a un suministro de 100 L de aceite por día para esta línea de producción. Se definió la formulación del producto con base en el mejor tratamiento del estudio.

Los materiales necesarios para el proceso productivo se calcularon con un balance de masa en las distintas operaciones unitarias que involucra el proceso productivo. La capacidad de los equipos fue calculada con base en el balance de masa y el tiempo que involucra realizar cada proceso. Los equipos se dimensionaron y se seleccionaron por catálogo de acuerdo a la capacidad de producción de la planta, para lo cual se consideró no más de un 25 % de sobredimensionamiento.

Se realizó el diagrama de bloques del proceso productivo (BFD), el diagrama de flujo del proceso tecnológico (PFD), la distribución de planta, el flujo de producto y movimiento de operarios y los cortes y elevaciones del área de producción.

Para el diseño del área de producción se consideró las principales vías de acceso de la zona, el principio de mínima distancia recorrida y el flujo de materiales en constante progreso hacia su terminación (Casp, 2005). En el diseño del área administrativa se tomaron en cuenta las normas presentes en la ordenanza

municipal 3457 del consejo metropolitano de Quito sobre arquitectura y urbanismo.

2.5. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para el estudio económico de la planta de producción de aceite de aguacate microencapsulado se obtuvieron las cotizaciones de los equipos para la capacidad de la planta. Las cotizaciones de los equipos fueron realizadas por las empresas ECOQUIMSA S.A., INGESIR ENVASADORAS SRL., TOPTRADING y GALAXIE Secado Spray.

Se calcularon las inversiones a realizarse antes de la puesta en marcha del proyecto, los costos de producción, los gastos administrativos y los gastos financieros, a fin de obtener el costo unitario del producto y establecer su precio de venta.

Para el cálculo de los valores futuros dentro del flujo de caja se consideró un financiamiento del proyecto por parte de una institución financiera, equivalente al 60 % de la inversión total, además se tomó en cuenta la inflación del país en los dos últimos años (4,15 %). Finalmente se calcularon los indicadores financieros, tasa interna de retorno (TIR), el valor presente (VAN) y el punto de equilibrio para definir si el proyecto es rentable o no.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. RESULTADOS DEL ACEITE MICROENCAPSULADO

3.1.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LA EMULSIÓN

Se encontró que la composición de la emulsión afecta directamente al tamaño del glóbulo graso y por ende a la estabilidad de la emulsión.

El diámetro efectivo del glóbulo graso en las emulsiones estuvo en el rango de 203,20 a 279,7 nm como se evidencia en la Tabla 3.1. Se observó que a medida que se reemplaza la cantidad de goma arábiga por maltodextrina en la formulación, el tamaño del glóbulo graso aumenta. Las formulaciones de proporción goma arábiga/maltodextrina 1:0 y 3:2 no mostraron diferencias estadísticamente significativas, además presentaron un menor tamaño del glóbulo graso en relación a las otras formulaciones. Por otro lado, se encontró una correlación lineal entre el tamaño del glóbulo graso y la composición de la emulsión (R^2 = 0,96) como se observa en la Figura 3.1.

Tabla 3.1. Viscosidad, densidad y tamaño del glóbulo graso en emulsiones de aceite de aguacate preparadas a diferentes proporciones de goma arábiga y maltodextrina DE 10

Proporción goma arábiga/ maltodextrina	Sustitución de goma arábiga por maltodextrina (%)	Viscosidad (mPa.s)	Densidad (kg/m^3)	Tamaño del glóbulo graso (nm)
1:0	0	$277,5 \pm 7,58^{a}$	$1067,8 \pm 41,7^{a}$	$203,20 \pm 7,47^{a}$
3:2	40	$110,8 \pm 4,99^{d}$	$1035,3 \pm 13,7^{a}$	$243,57 \pm 23,25^{a}$
1:1	50	$119,8 \pm 5,08^{b}$	$1052,6 \pm 13,8^{a}$	$272,83 \pm 22,03^{b}$
2:3	60	$102,2 \pm 1,94^{c}$	$1058,8 \pm 50,6^{a}$	$279,77 \pm 13,86^{b}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 6)

^{a,b,c,d} Letras diferentes en cada columna, indican diferencias estadísticamente significativas a $p < 0,05$, LSD de Fisher

En la Figura 3.1 se puede ver la importancia de la presencia de goma arábiga en la formulación, ya que a mayor cantidad de goma arábiga se tiene un menor tamaño del glóbulo graso. Este hecho se debe al carácter anfifílico de la goma arábiga que permite la formación de emulsiones estables (Gharsallaoui et al., 2007, p.1113).

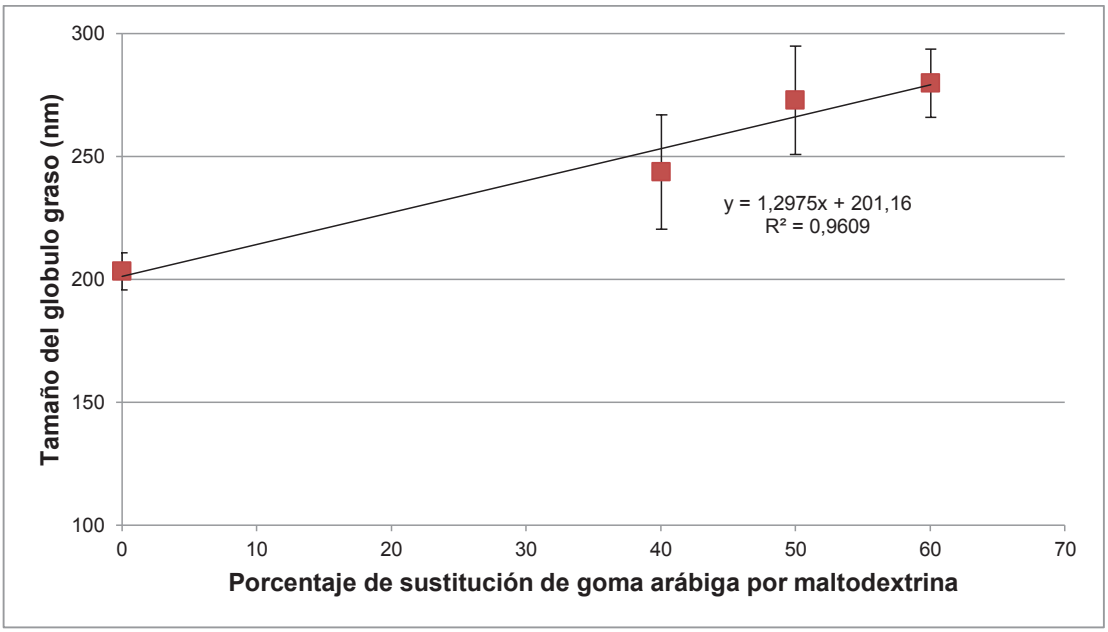


Figura 3.1. Comportamiento del tamaño del glóbulo graso de las emulsiones en función de su formulación

La reducción del tamaño del glóbulo graso por la presencia de la goma arábiga se debe a su vez a su composición química, su alto peso molecular y su estructura esférica ramificada, ya que tiende a formar una red densa que atrae a los glóbulos grasos, permite la fácil difusión del aceite en el agua y no permite que exista una separación lipídica, según menciona Vernon-Carter et al. (1998) (citado en Rodea-González et al., 2012, p.105). Por ende, la disminución de la concentración de goma arábiga puede resultar en una baja eficiencia en la formación de la emulsión y repercutir en las características físicas de las microcápsulas.

En cuanto a la viscosidad de las emulsiones cada tratamiento fue estadísticamente distinto, como se observó en la Tabla 3.1. Se encontró una correlación polinómica entre la viscosidad y la composición de la emulsión

(R^2=0,99) como se observa en la Figura 3.2. La presencia de maltodextrina en la formulación hace que la emulsión sea menos viscosa, esto permite que se tenga una emulsión con el mismo contenido de sólidos pero con una viscosidad mucho más baja, al tener una emulsión menos viscosa se facilita su manejo y operación en el proceso de secado ya que el tamaño de gota es menor y por lo tanto se facilita su aspersión y el correcto proceso de secado.

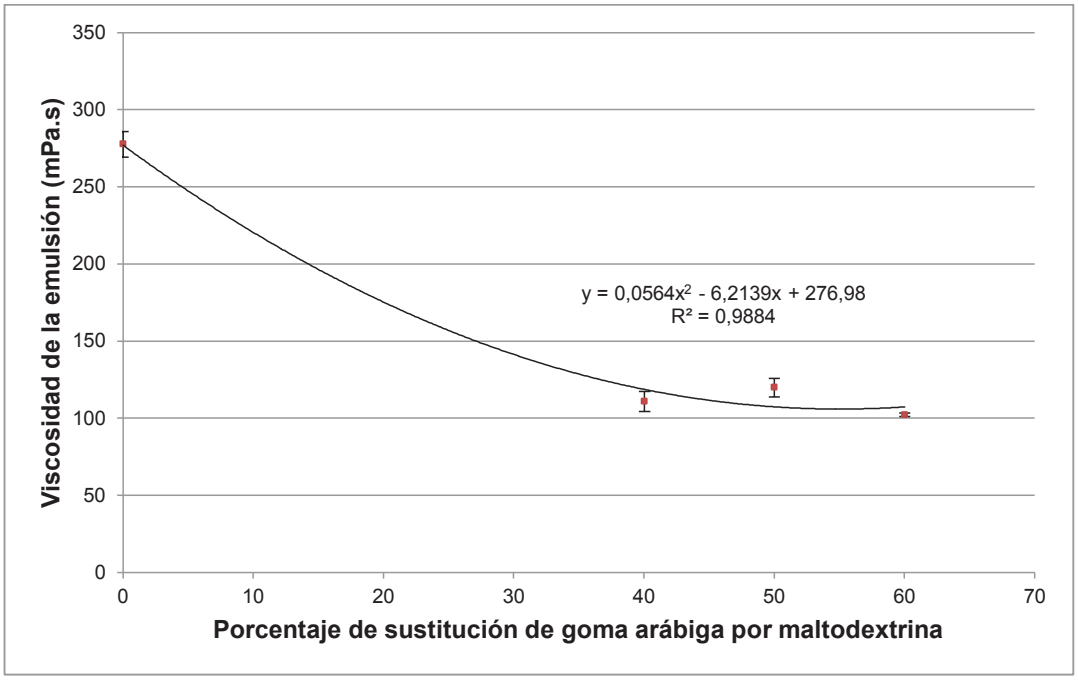


Figura 3.2. Comportamiento de la viscosidad de la emulsión de aceite de aguacate en función del contenido de maltodextrina

Los valores de viscosidad reportados en este estudio y el comportamiento de las emulsiones corresponden a los reportados por otros autores. Tonon, Grosso y Hubinger (2011), obtuvieron valores de viscosidad de 10 mPa.s, en emulsiones de aceite de linaza con 10 % de sólidos y 100 mPa.s, en emulsiones con 30 % de sólidos. Encontraron que la viscosidad de las emulsiones tiene una relación directa con el contenido de aceite y sólidos presentes en las formulaciones y que las emulsiones con alto contenido de sólidos son más viscosas (p. 286).

Por otro lado, Carneiro et al. (2013), demostró que las emulsiones que están formadas por maltodextrina y goma arábiga tienen mayor viscosidad que las

formadas por maltodextrina y cualquier otro polímero debido a la presencia de la goma arábiga que por su estructura ramificada tiende a formar soluciones espesas (p. 446).

Las emulsiones fueron examinadas visualmente con un microscopio equipado con una cámara SONY Cyber-shot inmediatamente después de su preparación. Las imágenes de la microscopia se muestran en la Figura 3.3. Con estas imágenes se confirma la correcta preparación de las emulsiones, su distribución y uniformidad al instante de la preparación.

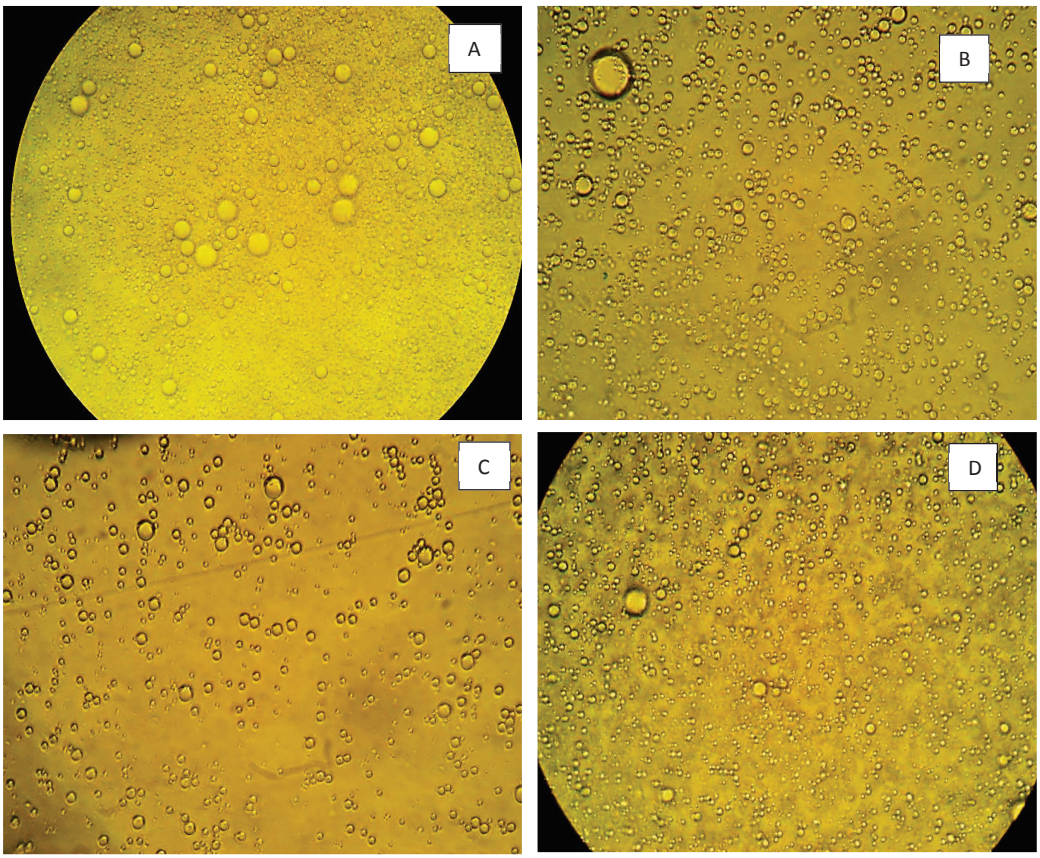


Figura 3.3. Microscopía de las emulsiones de aceite de aguacate preparadas a diferentes proporciones de goma arábiga y maltodextrina DE 10. A) 1:0, B) 1:1, C) 2:3, D) 3:2. Se utilizó como colorante lactofenol

Estos resultados pueden estar relacionados con la alta viscosidad de las emulsiones preparadas con goma arábiga y maltodextrina, dicha viscosidad proporciona una alta resistencia al movimiento de las gotas dentro de la emulsión

y evita la coalescencia de las mismas (Carneiro et al., 2013, p. 446). Sin embargo, se observó cierta tendencia a la separación en la formulación de proporción goma arábiga/maltodextrina 2:3 a las 24 horas de su preparación (no se reportan datos). En el resto de formulaciones no se evidenciaron cambios visuales significativos en su estabilidad a las 24 horas.

3.1.2. SECADO DE LAS EMULSIONES

En la Tabla 3.2 se encuentran los datos del rendimiento del proceso de secado, dichos datos se obtuvieron del total de aceite microencapsulado colectado a la salida del secador. Se obtuvieron rendimientos en el rango de 34 a 36 % para las temperaturas de 150 y 180 ºC, respectivamente. Se encontró que el rendimiento no se ve afectado por la formulación de las microcápsulas pero si por la temperatura de secado, dado que altas temperaturas del aire de secado incrementan la velocidad de evaporación del agua, lo que da como resultado un aumento de la cantidad de polvo seco producido.

Tabla 3.2. Condiciones de operación y rendimiento en los distintos tratamientos para la obtención de aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización

Proporción goma arábiga/ maltodextrina	Temperatura de entrada (ºC)	Temperatura de salida (ºC)	Rendimiento (%)	Eficiencia (%)
1:0	150	88,3 ± 0,4	34,90 ± 0,43[a]	89,14 ± 1,10[a]
1:1	150	92,8 ± 7,4	34,30 ± 0,57[a]	87,56 ± 1,46[a]
2:3	150	87,5 ± 2,1	34,20 ± 0,5[a]	87,38 ± 1,28[a]
3:2	150	89,3 ± 1,1	34,20 ± 0,83[a]	87,37 ± 2,12[a]
1:0	180	107,0 ± 2,8	36,00 ± 1,29[b]	91,90 ± 3,29[b]
1:1	180	107,3 ± 6,7	36,00 ± 0,28[b]	92,08 ± 0,70[b]
2:3	180	103,8 ± 1,8	34,80 ± 0,80[b]	88,85 ± 2,05[b]
3:2	180	106,0 ± 2,8	35,20 ± 0,36[b]	89,86 ± 0,93[b]

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 4)
[a,b] Letras diferentes en cada columna, indican diferencias estadísticamente significativas a $p < 0,05$, LSD de Fisher

Roccia et al. (2014) encontraron que existen varios factores que afectan al rendimiento del proceso de microencapsulación por secado por aspersión, entre ellos la capacidad de aspiración del ciclón, la velocidad de alimentación y la temperatura de secado. Ellos encontraron que una alta capacidad de aspiración permite una mejor velocidad de separación de las partículas y mayor fuerza de arrastre lo que permite desprender mayor cantidad de partículas de la cámara de secado y mejorar el rendimiento (p. 7). Así obtuvieron un rendimiento máximo del 40 % cuando el ciclón aspirador se encontraba al 100 % de su capacidad y con una temperatura de secado de 200 ºC

3.1.3. CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE MICROENCAPSULADO

El porcentaje de humedad de las microcápsulas fue de 0,80 ± 0,01 %, la más baja, y 1,67 ± 0,19 %, la más alta, que correspondieron a las temperaturas de 180 y 150 ºC, respectivamente como se observa en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3. Resultados de humedad y humectabilidad del aceite de aguacate microencapsulado obtenido mediante secado por atomización

Goma arábiga: maltodextrina	Temperatura de secado (ºC)	Humedad (%)	Humectabilidad (h/kg)
1:0	150	$1,67 \pm 0,19^{a}$	$67,71 \pm 4,07^{a}$
1:1	150	$1,42 \pm 0,12^{a}$	$129,25 \pm 3,30^{c}$
2:3	150	$1,52 \pm 0,26^{a}$	$68,00 \pm 3,30^{b}$
3:2	150	$1,58 \pm 0,35^{a}$	$68,04 \pm 3,30^{ab}$
1:0	180	$1,15 \pm 0,14^{b}$	$62,63 \pm 0,29^{a}$
1:1	180	$1,05 \pm 0,00^{b}$	$123,63 \pm 4,77^{c}$
2:3	180	$1,03 \pm 0,25^{b}$	$80,54 \pm 2,30^{b}$
3:2	180	$0,80 \pm 0,01^{b}$	$71,04 \pm 1,59^{ab}$

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 4)

[a,b,c] Letras diferentes en cada columna, indican diferencias estadísticamente significativas a $p < 0,05$, LSD de Fisher

Se observó que el factor más importante sobre la humedad es la temperatura de secado ($p<0,05$), al incrementar la temperatura se acelera la velocidad de evaporación del agua en las partículas. Cuando la temperatura de entrada al secador es baja la velocidad con que las partículas se secan disminuye, esto hace que se produzcan microcápsulas con una matriz densa, un alto contenido de agua, no fluyen con facilidad y tienden a aglomerarse (Gharsallaoui et al., 2007, p. 1111).

Otros autores como Aghbashlo, Mobli, Madadlou y Rafiee (2012), reportaron valores similares de humedad, entre 4,36 % y 1,41 % en microcápsulas de aceite de pescado para temperaturas de secado de 140 ºC y 180 ºC, respectivamente (p.1565).

Lopera, Guzmán, Cataño y Gallardo (2009), obtuvieron microcápsulas de ácido fólico con porcentajes de humedad entre 1,69 % y 2,65 % para una temperatura de secado constante de 220 ºC. Lopera et al. (2009), menciona que con estos porcentajes de humedad no se han reportado fenómenos de apelmazamiento o de agregación en productos similares a nivel industrial (p. 59).

En cuanto a la humectabilidad, se observó que este parámetro es influenciado por la formulación de las microcápsulas, según los datos representados en la Tabla 3.3. Las formulaciones de proporción goma arábiga/maltodextrina 1:1 y 2:3, secadas a 150 y 180 ºC, obtuvieron la mayor humectabilidad. Esto se debe en parte al aceite superficial presente en las partículas, al tener el polvo mayor cantidad de aceite en su superficie es muy difícil que absorba humedad rápidamente, debido al carácter hidrofóbico del aceite.

El tamaño de partícula del polvo estuvo en el rango de 2, 30 a 3,61 μm como se observa en la Tabla 3.4. Del análisis ANOVA se obtuvo que el parámetro que más influye sobre el tamaño de las microcápsulas es la temperatura de secado ($p<0,05$), no se observó una diferencia estadísticamente significativa entre las formulaciones.

Se encontró que un incremento en la temperatura de secado aumenta el tamaño de partícula de las microcápsulas, ya que a mayor temperatura se acelera la velocidad de secado de las partículas. Además Chegini y Ghobadian (citados en Aghbashlo et al., 2012, p.1565) mencionan que se produce una migración de los materiales solubles formadores de pared a la superficie de las gotas atomizadas, dicha migración ocasiona una acelerada formación de la corteza protectora en la superficie de las gotas de aceite, la misma que evita la contracción de las microcápsulas, es por eso que se produjeron partículas más grandes a la temperatura de 180 ºC.

En cuanto a la densidad aparente de las partículas se obtuvieron valores para densidad compactada y densidad suelta como se observa en la Tabla 3.4.

Tabla 3.4. Tamaño de partícula y densidad aparente del aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización

Proporción goma arábiga/ maltodextrina	Temperatura de secado (ºC)	Tamaño de partícula (µm)	Densidad aparente (kg/m^3)	
			Compactada	Suelta
1:0	150	2, 30 ± 0,26^a	631,62 ± 7,25^a	374,00 ± 4,95^a
1:1	150	2,96 ± 1,37^a	658,83 ± 10,13^a	374,75 ± 7,42^a
2:3	150	2,37 ± 0,66^a	658,92 ± 7,89^a	388,75 ± 5,30^a
3:2	150	3,61 ± 1,14^a	645,63 ± 10,43^a	380,50 ± 4,95^a
1:0	180	3,29 ± 0,37^b	529,29 ± 8,08^b	293,50 ± 7,78^b
1:1	180	4,26 ± 1,95^b	553,89 ± 10,20^b	294,50 ± 4,24^b
2:3	180	4,45 ± 0,56^b	530,13 ± 6,18^b	301,25 ± 4,59^b
3:2	180	3,35 ± 0,33^b	508,39 ± 7,23^b	280,25 ± 1,77^b

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 4)
^{a,b} Letras diferentes en cada columna, indican diferencias estadísticamente significativas a p < 0,05, LSD de Fisher

Las formulaciones no mostraron una diferencia estadísticamente significativa en su densidad aparente, sin embargo la temperatura de secado si influyó en el resultado de los tratamientos (p<0,05). Las microcápsulas obtenidas a la

temperatura de 180 ºC presentaron menor densidad aparente que las obtenidas a 150 ºC.

La densidad de las partículas es relativamente alta en comparación con la reportada por otros autores. Carneiro et al. (2013), reportó valores de densidad compactada de 400 kg/m^3 para microcápsulas de aceite de linaza hechas con goma arábiga y maltodextrina y 280 kg/m^3 con goma arábiga y concentrado proteico del suero (p. 446).

Aghbashlo et al. (2012), obtuvo valores de densidad compactada entre 280 y 350 kg/m^3 para microcápsulas de aceite de pescado encapsuladas en una matriz de concentrado de suero y caseinado de sodio (p.1566). Reineccius (2004) menciona que la ventaja de tener partículas con alta densidad está en el almacenamiento, ya que pueden ser almacenadas por largos periodos de tiempo en contenedores relativamente pequeños. Además, presentan menor cantidad de aire ocluido lo que favorece a la estabilidad de las partículas ya que se previene el daño por la oxidación de los lípidos (p. 1313).

En cuanto a la morfología de las microcápsulas, esta fue evaluada por microscopía electrónica de barrido (SEM). Las imágenes SEM del aceite microencapsulado se muestran en las Figuras 3.4 y 3.5. Mediante esta metodología fueron medidos los aglomerados, cuyos tamaños estuvieron comprendidos entre 24,0 y 54,6 μm.

Estos tamaños son diferentes a los reportados anteriormente en la Tabla 3.4 ya que la metodología del análisis se realizó en seco. Por lo tanto, se observó el tamaño de los aglomerados, mientras que los datos reportados en la Tabla 3.4 fueron del tamaño de partícula del polvo sin considerar la formación de aglomerados. Rodea-González et al. (2012), menciona que el tamaño de los aglomerados se ve influenciado por el tipo de aspersor, la tasa de suministro de la emulsión, las condiciones de atomización y la presión del aire en el equipo (p.106).

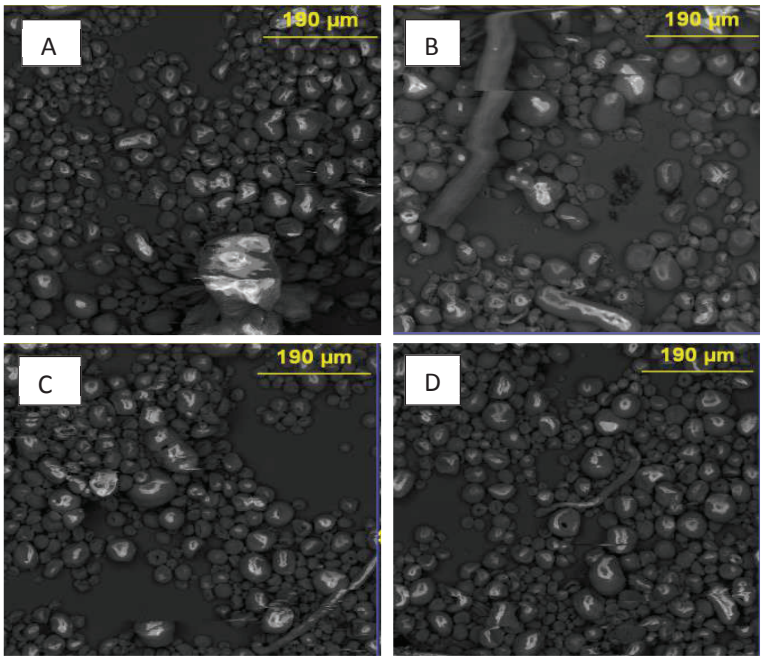


Figura 3.4. Microscopía electrónica de barrido (SEM) a 250 X del aceite microencapsulado secado por atomización a 150 ºC. A) 1:0, B) 1:1, C) 2:3, D) 3:2

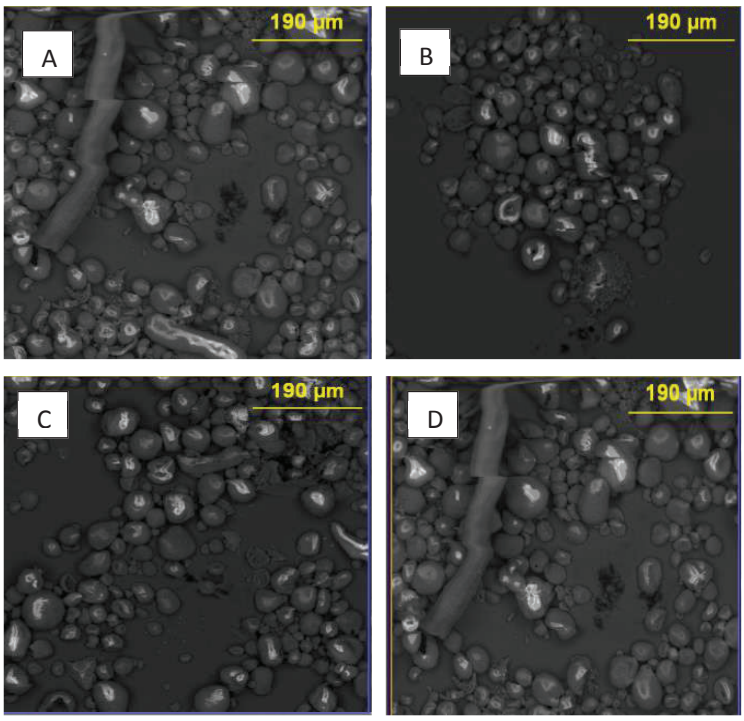


Figura 3.5. Microscopía electrónica de barrido (SEM) a 250 X del aceite microencapsulado secado por atomización a 180 ºC. A) 1:0, B) 1:1, C) 2:3, D) 3:2

Se pudo observar que las partículas presentaron forma esférica en su mayoría y un alto grado de aglomeración dada la diferencia de tamaño con los valores reportados en la Tabla 3.4 y los datos obtenidos de microscopia electrónica de barrido. El alto grado de aglomeración que presentaron las partículas es una característica indeseable en el producto ya que facilita su humectabilidad (Bae y Lee, 2008, p.555). Por otro lado, dicha humectabilidad de las partículas puede ser retrasada gracias a la presencia del aceite superficial que impide el ingreso de agua a través de la membrana Hogan et al. (2001) (citado en Bae y Lee, 2008, p. 555).

El material de núcleo, de carácter lipofílico, se introdujo a manera de microgotas dentro de la matriz sólida de pared, por esta razón fue necesario un rompimiento de la membrana protectora, mediante un proceso de hidrólisis ácida, para determinar la cantidad de aceite total retenido. En la Tabla 3.5 se observan los valores obtenidos para aceite total retenido, aceite superficial y eficiencia de microencapsulación. La eficiencia de microencapsulación varió de 46,40 % a 71,38 %. Del análisis ANOVA se obtuvo que el contenido de aceite presente en la superficie de las microcápsulas y la eficiencia de la microencapsulación se ven influenciadas significativamente por la formulación de las emulsiones ($p<0,05$), mientras que la temperatura de secado no repercute sobre este factor.

Se demostró que la cantidad de goma arábiga de la formulación influye directamente sobre la cantidad de aceite superficial y por ende sobre la eficiencia de microencapsulación. Las formulaciones de proporciones goma arábiga/maltodextrina, 1:0 y 3:2, presentaron menor cantidad de aceite superficial independientemente de la temperatura de secado ($p<0,05$). Por otro lado, las formulaciones de proporción goma arábiga/maltodextrina, 2:3 y 2:2, presentaron una mayor cantidad de aceite en su superficie, lo que repercutió directamente sobre la eficiencia de la microencapsulación como se observa en los datos reportados en la Tabla 3.5.

Tabla 3.5. Aceite total retenido, aceite superficial y eficiencia de microencapsulación del aceite de aguacate microencapsulado mediante secado por atomización

Proporción goma arábiga/ maltodextrina	Temperatura de secado (^{0}C)	Aceite total retenido (%)	Aceite libre o superficial (%)	Eficiencia de microencapsulación (%)
1:0	150	$35,24 \pm 0,50^{a}$	$10,60 \pm 0,93^{a}$	$69,92 \pm 3,05^{c}$
1:1	150	$34,51 \pm 1,07^{a}$	$16,84 \pm 0,44^{c}$	$51,15 \pm 2,79^{a}$
2:3	150	$35,08 \pm 0,37^{a}$	$18,15 \pm 3,40^{bc}$	$48,21 \pm 10,24^{a}$
3:2	150	$34,48 \pm 1,09^{a}$	$13,93 \pm 1,76^{ab}$	$59,50 \pm 6,39^{b}$
1:0	180	$34,06 \pm 0,68^{a}$	$9,73 \pm 1,14^{a}$	$71,38 \pm 3,93^{c}$
1:1	180	$35,03 \pm 0,19^{a}$	$18,79 \pm 2,79^{c}$	$46,40 \pm 7,68^{a}$
2:3	180	$34,92 \pm 0,01^{a}$	$18,33 \pm 2,21^{bc}$	$47,53 \pm 6,35^{a}$
3:2	180	$34,55 \pm 0,71^{a}$	$17,07 \pm 3,17^{ab}$	$50,68 \pm 8,16^{b}$

$\bar{x} \pm \sigma$ $(n = 4)$
^{a,b,c} Letras diferentes en cada columna, indican diferencias estadísticamente significativas a $p < 0,05$, LSD de Fisher.

Tonon et al. (2011), reportaron valores similares comprendidos entre 51 y 92 % de eficiencia, para aceite de linaza microencapsulado con una matriz de goma arábiga mediante secado por atomización. Encontraron que esta variable de respuesta se ve influenciada por el contenido de sólidos de la microcápsula y la concentración de aceite, donde la concentración de aceite fue el factor que más influyó sobre la eficiencia de la microencapsulación (p.285).

Rodea-González et al. (2012), en sus investigaciones demostraron que al incrementar la proporción de material de pared en las formulaciones se incrementa la capacidad de retención de la microcápsula y como consecuencia la eficiencia de la microencapsulación (p.106).

Se encontró una correlación lineal (R^2= 0,94) entre la formulación y la cantidad de aceite superficial presente en el producto. En la Figura 3.6 se observa que a

medida que se reemplaza la goma arábiga por maltodextrina se incrementa la cantidad de aceite superficial en el producto.

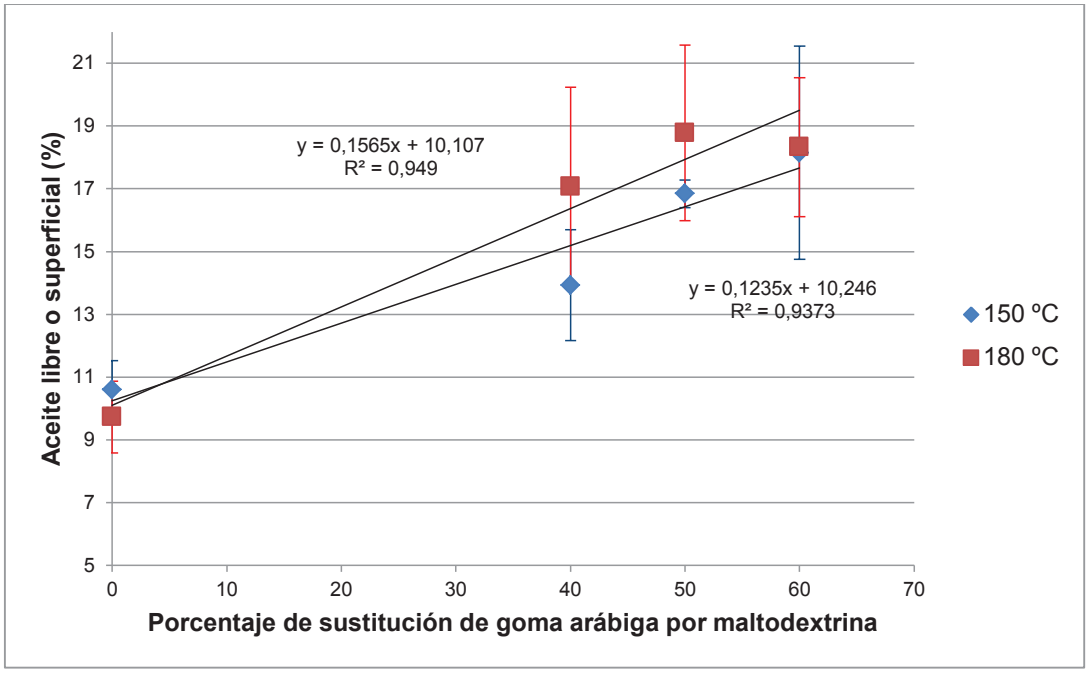


Figura 3.6. Influencia de la formulación de las emulsiones de aceite de aguacate sobre el porcentaje de aceite presente en la superficie de las microcápsulas

Como se observó, en el acápite 3.1.1, de la caracterización de las emulsiones, los tratamientos con mayor cantidad de maltodextrina en su formulación presentaron un mayor tamaño del glóbulo graso debido a la sustitución de la goma arábiga, que es el emulsionante natural de las formulaciones y aumenta la viscosidad de las mismas lo que reduce el movimiento de la parte oleosa dentro de las emulsiones. Esto tuvo un efecto directo sobre el contenido de aceite superficial y la eficiencia de las microcápsulas como se observó en la Figura 3.6, ya que glóbulos grasos de mayor tamaño retardan la formación de la costra protectora de la microcápsula y hacen que la difusión de aceite hacia la superficie sea más fácil y por ende se tiene mayor contenido de aceite superficial (Aghbashlo et al., 2013, p.1712), como se observa en la Figura 3.7.

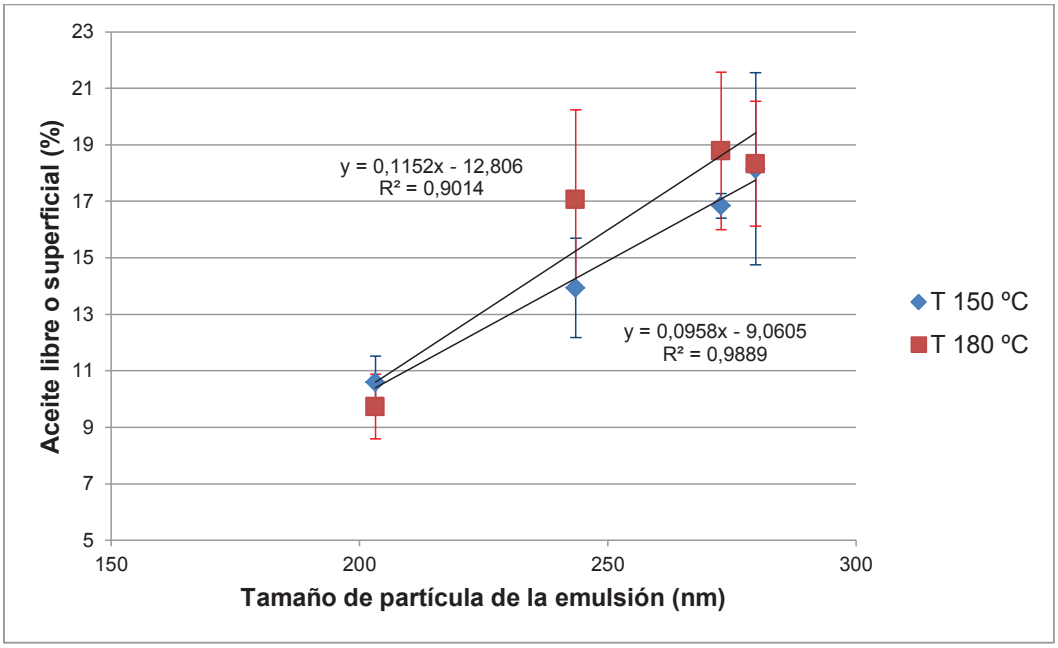


Figura 3.7. Influencia del tamaño del glóbulo graso de la emulsión sobre el contenido de aceite superficial en el polvo

Por otro lado, Jafari et al. (2008) menciona que el contenido de aceite superficial presente en las formulaciones con mayor tamaño del glóbulo graso puede ser atribuido a la ruptura de la emulsión durante el proceso de atomizado debido a la fuerza centrífuga del disco de la turbina (p. 827). Sin embargo, este factor se puede controlar si se opta por realizar el proceso mediante un atomizador de boquilla.

Soottitantawat et al. (2003) (citado en Jafari, 2008), al microencapsular limoneno en una matriz de almidón modificado observaron que el aceite microencapsulado producido mediante atomizador centrífugo presentó mayor contenido de aceite superficial que el producido mediante atomizador de boquilla. Al utilizar el atomizador de boquilla logró obtener eficiencias de microencapsulación comprendidas entre el 80 y 89 % (p. 828).

Al trabajar con el atomizador de boquilla se debe emplear altas presiones de aire, ya que esto hará que el radio de atomizado aumente, lo que implicará que exista

una mayor superficie de contacto entre las gotas atomizadas y el aire caliente, por ende aumentará la velocidad de secado (Jafari et al., 2008, p. 828).

Otra forma de mejorar la eficiencia de microencapsulación es si se incrementa el contenido de materiales de pared (sólidos), lo que provocaría una variación positiva en la viscosidad de las emulsiones y la rápida formación de la costra protectora al momento del secado. De esta forma se evitaría la difusión de las gotas de aceite hacia la superficie (Tonon et al., 2011, p. 286).

3.2. ESTABILIDAD DEL PRODUCTO

De los resultados presentados en el acápite 3.1, se obtuvo que los mejores tratamientos fueron los de proporción goma arábiga/maltodextrina 1:0 y 3:2, independientemente de la temperatura de secado, ya que no presentaron diferencia estadísticamente significativa en contenido de aceite superficial y eficiencia de microencapsulación.

Para este estudio se seleccionó la formulación de proporción goma arábiga/maltodextrina 3:2 debido a que no existe una diferencia estadísticamente significativa ($p<0,05$) con la formulación 1:0. Además varios autores reportan que el uso de maltodextrina, con altos equivalentes de dextrosa (DE), en el material de pared de una microcápsula proporciona una fuerte barrera contra el medio externo y evita el deterioro por oxidación (Reineccius, 2004, p. 1316), además permite abaratar costos al sustituir en parte a la goma.

Se seleccionó la temperatura de secado de 150 ºC debido a que no presentó diferencias estadísticamente significativas con la temperatura de 180 ºC, lo que permite abaratar costos en cuanto a consumo de energía.

En el estudio se analizó la estabilidad de las partículas a 30, 40 y 60 ºC durante 5 semanas. Los resultados de humedad e índice de peróxido se muestran en las Tablas 3.6 y 3.7 respectivamente.

En la Tabla 3.6 y en la Figura 3.8 se observa que las partículas almacenadas a 30 ºC presentaron un incremento del 10 % en su humedad a los 35 días, mientras que las muestras almacenadas a 40 ºC y 60 ºC mostraron un descenso de su humedad.

Reineccius (2004), menciona que polvos con humedades alrededor del 2 % son aceptables. Además, la mayor parte de productos producidos mediante secado por atomización presentan humedades entre 1 y 6 % (p. 1315).

Tabla 3.6. Resultados del análisis de humedad del aceite microencapsulado almacenado a 30, 40 y 60 ºC

Semana	Humedad en base húmeda (%)		
	30 °C	**40 °C**	**60 °C**
0	1,82 ± 0,06	1,82 ± 0,06	1,82 ± 0,06
1	1,69 ± 0,26	2,01 ± 0,01	1,48 ± 0,03
2	2,10 ± 0,18	1,72 ± 0,03	1,23 ± 0,25
3	1,58 ± 0,10	1,26 ± 0,08	0,97 ± 0,21
4	2,05 ± 0,06	1,16 ±0,16	1,03 ± 0,12
5	2,01 ± 0,01	1,27 ± 0,03	1,04 ± 0,08

$\bar{x} \pm \sigma$ (n = 3)

A 30 ºC se observó una ganancia de humedad en las muestras. Sin embargo, la humedad que absorbieron las muestras fue menor al 10 %, debido a la baja permeabilidad del empaque polilaminado al vapor de agua, mientras que a 40 y 60 ºC se observó una transferencia de vapor de agua del interior al medio externo.

Esto se explica por la humedad relativa del aire al interior de la estufa ya que conforme se incrementa la temperatura en el interior, la humedad del aire disminuye y el sólido húmedo almacenado pierde humedad hasta llegar a una humedad de equilibrio con el aire en el interior.

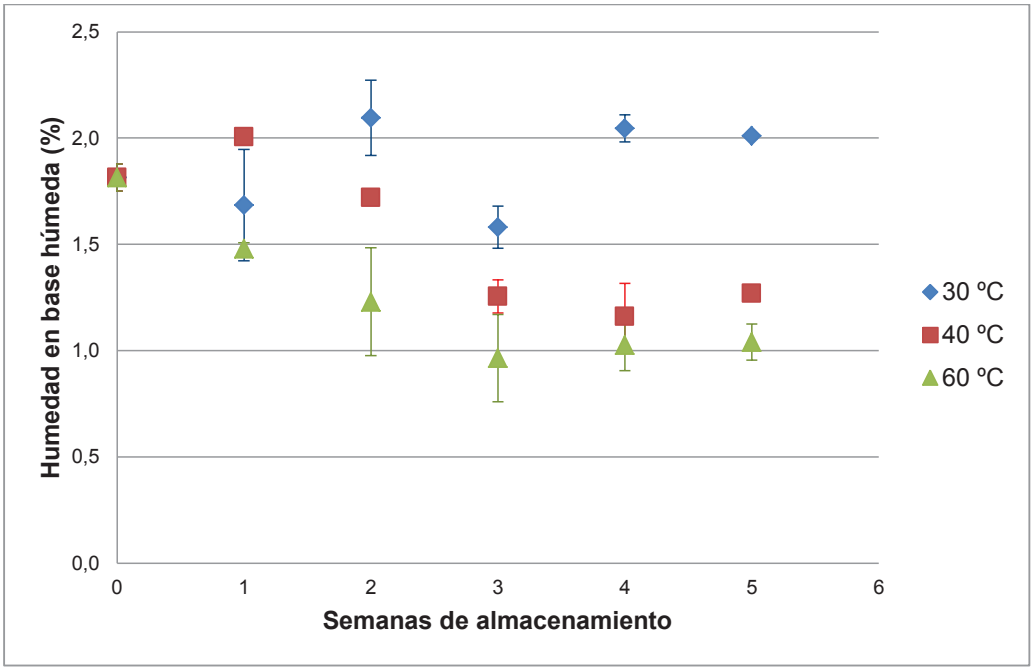


Figura 3.8. Comportamiento de la humedad del aceite microencapsulado en almacenamiento a las temperaturas de 30, 40 y 60 ºC

Se estudió la variación del índice de peróxido (IP) de muestras de aceite de aguacate y aceite microencapsulado. Dichos valores de índice de peróxido analizados durante 35 días se presentan en la Tabla 3.7. Los valores del índice de peróxido de las muestras almacenadas a 30 y 40 ºC no presentaron variación, mientras que a 60 ºC presentaron una variación significativa hasta un valor de 31 meq O_2/kg de aceite a los 35 días. Por otro lado, el producto almacenado a 60 ºC presentó muestras de alta rancidez, además de una decoloración, lo que puede deberse a una degradación de la clorofila del aceite por la temperatura de almacenamiento o por acción misma de los componentes que causan la rancidez de las partículas.

Velasco, Dobarganes y Márquez-Ruiz (2003), mencionan que dentro de una microcápsula, la matriz que contiene al componente activo puede verse afectada ya sea por el contenido de agua o por efecto de la temperatura. Conforme se incrementa la temperatura del ambiente, el sólido alcanza su temperatura de transición vítrea, lo que hace que pierda sus propiedades como sólido cristalino formador de película y adquiera propiedades más plásticas que permiten mayor

movilidad de los glóbulos grasos (p.309). Esto ocasiona que en el almacenamiento a 60 ºC exista una mayor transferencia de la fase lipídica hacia la superficie de las microcápsulas, lo que permite tener mayor cantidad de aceite en contacto directo con el ambiente y se acelera la velocidad con que las partículas se enrancian.

Tabla 3.7. Resultados del índice de peróxido en meq O_2/ kg aceite del aceite microencapsulado almacenado a 30, 40 y 60 ºC

SEMANA	Índice de peróxido (meq O_2/ kg aceite)					
	30 ºC		40 ºC		60 ºC	
	aceite ME	aceite	aceite ME	aceite	aceite ME	aceite
0	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	7	1
2	1	1	1	2	16	1
3	1	1	1	1	24	1
4	1	1	1	1	29	1
5	1	1	1	1	31	1

Aghbashlo et al. (2013) reportaron valores de índice de peróxido entre 5,6 y 6,5 meq O_2/kg para microcápsulas de aceite de pescado y un valor de 5 meq O_2/kg para aceite de pescado puro (p. 1712). Los valores reportados por el autor son relativamente más altos que los reportados en este estudio debido al grado de insaturación del aceite que utilizó.

Durante el almacenamiento, las grasas insaturadas tienden a absorber oxígeno y reaccionan a los peróxidos, lo que hace que se produzcan compuestos volátiles que tienen un efecto desagradable ante el gusto y el olfato, esto se conoce como enranciamiento oxidativo. Por ende, un aceite con mayor grado de insaturación, como es el caso del aceite de pescado que utilizó Aghbashlo et al. (2013), de 28,6 % de omega 3, va a absorber mayor cantidad de oxígeno que el aceite de

aguacate empleado este estudio, con un contenido de 1 % de omega 3, lo que va a dar valores mayores de índice de peróxido.

Bae y Lee (2008), reportaron valores alrededor de 4,5 meq O_2/kg para microcápsulas de aceite de aguacate en un matriz de aislado proteico del suero de la leche y maltodextrina DE 28; el valor se mantuvo constante durante 8 semanas a la temperatura de 25 ºC, mientras que a 60 ºC se vió un incremento hasta 8 meq O_2/kg a las 8 semanas (p. 558).

Bae y Lee (2008) reportaron un valor menor de IP para las muestras almacenadas a 60 ºC probablemente debido al uso de envases herméticos de vidrio durante el almacenamiento. El vidrio como material de empaque impide en su totalidad el intercambio gaseoso con el medio ambiente. Por lo tanto, independientemente de las condiciones externas de temperatura en las que se encuentre el producto, este no mostrará rancidez debido a que no existe un intercambio gaseoso con el medio externo.

Por otra lado, Velasco et al. (2003) menciona que una de las variables que afecta la oxidación en los aceites microencapsulados es la coexistencia de las dos fases lipídicas. El aceite superficial, accesible a la extracción por medio de solventes orgánicos y el aceite encapsulado, no tan accesible como el primero, además, su extracción requiere la rotura de la membrana que lo protege (p. 308).

La oxidación de los aceites microencapsulados está relacionada en mayor parte al aceite superficial, mientras que el aceite contenido en la matriz polimérica presenta bajos niveles de peróxido. Por tanto, Velasco afirma que el índice de peróxido dependerá incluso del método que se emplee para su análisis, ya que no será lo mismo analizar el IP del aceite superficial que analizar que analizar el IP del aceite total retenido mediante técnicas de disrupción de la membrana.

3.3. DISEÑO DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE ACEITE MICROENCAPSULADO

3.3.1. DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

Se microencapsulará aceite de aguacate extra virgen debido sus amplio valor nutricional y perfil de ácidos grasos insaturados, benéficos en el tratamiento de enfermedades cardiovasculares y en pacientes con hipercolesterolemia (Dreher y Davenport, 2013, p.740).

La emulsión de aceite de aguacate estará conformada por: 13,0 % aceite; 15,6 % goma arábiga; 10,0 % maltodextrina DE 10 y 61,0 % agua que corresponde a la formulación de la emulsión de proporción goma arábiga/maltodextrina 3:2 que se utilizó en el estudio de estabilidad. Dicha emulsión se secará mediante la técnica de secado por atomización, que es la más utilizada en la industria alimenticia, debido a su bajo costo, eficiencia y facilidad de operación.

El aceite de aguacate microencapsulado que se obtiene es un producto en polvo, de color amarillo claro, de forma esférica, cuyo tamaño varía entre 1 μm y 1 mm y con una humedad entre 1 y 2 % en base húmeda. El producto se comercializará en un empaque polilaminado que evite el paso de vapor de agua y luz al interior del producto en presentación de 25 kg.

3.3.2. CAPACIDAD Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA

El aceite de aguacate es la materia prima de mayor relevancia en el producto. Con la finalidad de evitar costos de transporte de dicho aceite, facilitar la comercialización del producto y reducir el uso de intermediarios la planta de producción de aceite microencapsulado se ubicará en el cantón Mira, en la provincia del Carchi, al norte del Ecuador. Esta planta de producción consistirá en una nave ubicada junto a la planta extractora de aceite de aguacate de la empresa UYAMÁ FARMS S.A.

La planta extractora de aceite tiene una capacidad de procesamiento de 10 Ton diarias. Sin embargo, actualmente produce 3 Ton diarias, que se obtienen de 80 Ha de cultivo de aguacate (ProChile, 2011, p.4).

A la planta de aceite microencapsulado se receptará un suministro inicial de 100 L de aceite/día que corresponde al 10 % de la producción de la planta extractora. Sin embargo, la planta estará diseñada para duplicar su producción en el caso de existir un aumento en la demanda del producto.

3.3.3. MATERIA PRIMA E INSUMOS

Los materiales que se utilizan para la preparación de aceite de aguacate microencapsulado son: aceite de aguacate de calidad Premium, goma arábiga y maltodextrina grado alimenticio DE 10-20 y agua. Los insumos corresponden a etiquetas y bolsas de boca abierta polilaminadas de capacidad de 25 kg.

3.3.4. PROCESO TECNOLÓGICO

En la Figura 3.9 se observa el diagrama de bloques del proceso productivo para la obtención de aceite de aguacate microencapsulado.

La preparación de las soluciones encapsulantes se realizará en procesos batch debido a que la capacidad de producción actual de la planta de aceite no abastece para una producción continua de la planta de aceite microencapsulado. Los procesos batch serán de un máximo de 400 L debido a que los equipos de agitación no soportan un volumen mayor.

Para disminuir el tamaño del glóbulo graso y conseguir emulsiones más estables se preparará una emulsión primaria con el aceite y la solución encapsulante de goma arábiga, la goma desempeñará el papel del agente emulsionante, hará que disminuya el tamaño del glóbulo graso y aumentará la viscosidad de la misma. Para la mezcla de las dos sustancias se utilizará un agitador mecánico de hélice

de alta potencia como el que se observa en el Anexo I. Benita (2006) menciona que la energía impartida por el agitador a la emulsión desarrolla un bombeo interno de la emulsión a la región de alto cizallamiento, dicho bombeo crea grandes flujos que barren el recipiente en todas las direcciones en un esfuerzo de homogenizar el contenido (p.154). Además este tipo de agitador al crear dicho movimiento interno y al llevar el contenido hacia las regiones de alto cizallamiento ayudará a romper las gotas de aceite y así obtener una emulsión que no presente separación de sus fases.

A la emulsión primaria preparada se añadirá la solución encapsulante de maltodextrina, con la finalidad de regular la viscosidad de la emulsión final, dicha emulsión pasará por una homogenización final mediante un equipo Ultra-Turrax como el que se observa en el Anexo I.

La emulsión obtenida se secará en un equipo de secador por atomización debido a su facilidad de manejo y amplio uso en la industria de alimentos. El proceso de atomizado se realizará a través de una turbina con aspersor de boquilla, se utilizará este tipo de aspersor con el objetivo de evitar que las partículas se adhieran a las paredes del equipo. No se utilizará el aspersor de disco, como el que se utilizó en esta investigación, para evitar que exista una separación de aceite de la emulsión, debido a la fuerza centrífuga que se produce durante el atomizado (Reineccius, 2004, p. 1310).

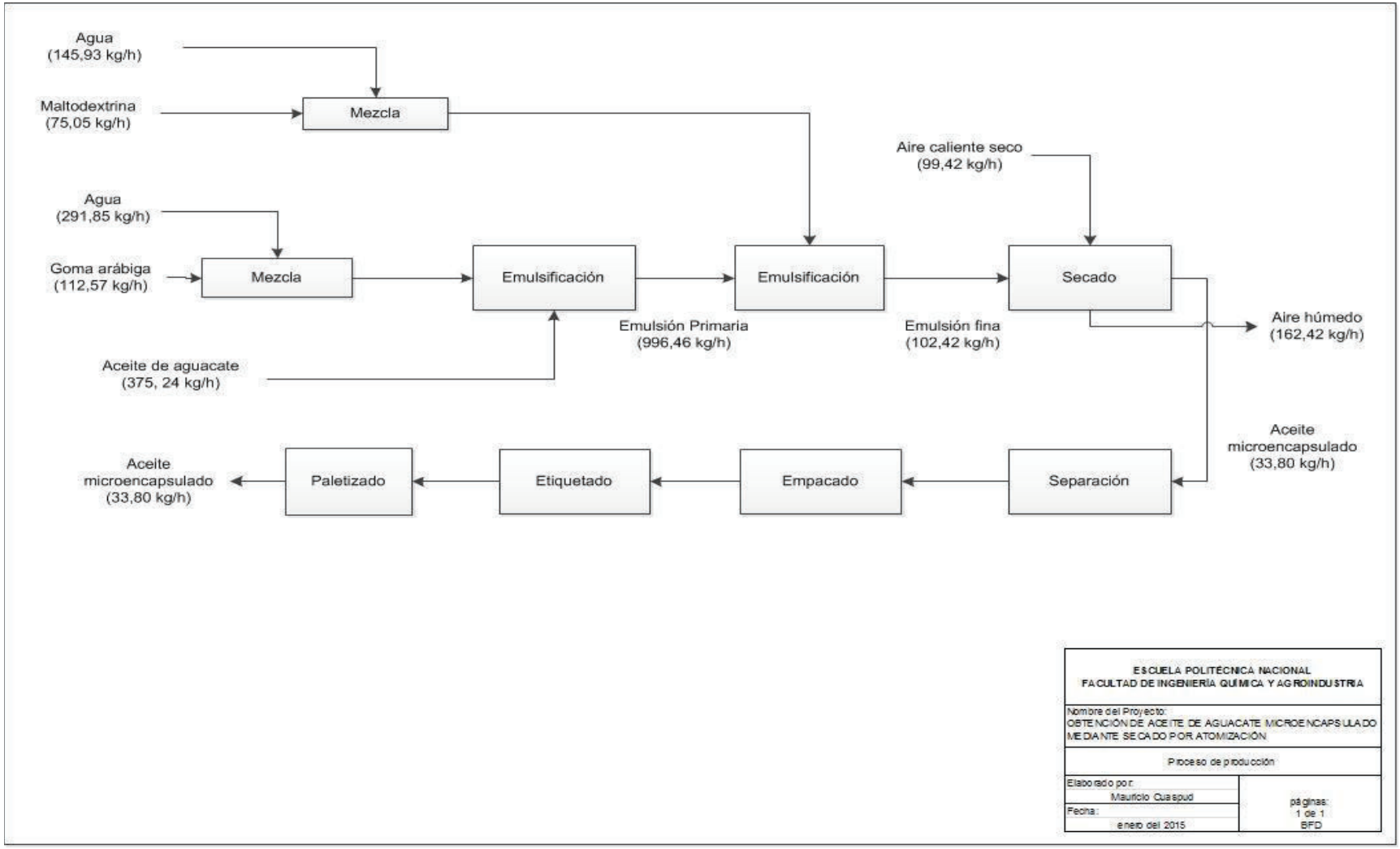


Figura 3.9. Diagrama de bloques (BFD) del proceso productivo

3.3.5. DESCRIPCIÓN DEL ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto tuvo como finalidad diseñar una planta para la producción de aceite de aguacate microencapsulado a partir de un suministro de 100 L aceite/día. La planta estará ubicada en el cantón Mira de la provincia del Carchi, junto a la planta procesadora de aceite de aguacate de la empresa UYAMÁ FARMS S.A.

Se establecieron las operaciones unitarias involucradas para la obtención de las microcápsulas de acuerdo a investigaciones experimentales a escala de laboratorio y escala de planta piloto. Se realizó el balance de materiales para determinar la cantidad de materia prima e insumos que intervendrán en el proceso industrial y se estableció la capacidad de los equipos. Se consideró un sobredimensionamiento máximo del 25 % y la posibilidad de ampliación de la planta.

Se desarrolló el diagrama de bloques del proceso de producción (BFD) y el diagrama de flujo del proceso tecnológico (PFD), se realizó la distribución en planta, el flujo de producto y movimiento de operarios.

Para distribuir las distintas áreas dentro de la planta se tomó en cuenta el movimiento de los operarios, se procuró evitar movimientos innecesarios y posibles cruces dentro de la planta.

Finalmente el diseño concluyó con la distribución de áreas complementarias como laboratorios de control de calidad, bodegas, talleres de mantenimiento, áreas sanitarias y oficinas.

3.3.6. PLANO DE SIMBOLOGÍA, ABREVIATURAS Y NOMENCLATURA UTILIZADA EN EQUIPOS Y LÍNEAS DE CORRIENTE

Los equipos involucrados en el proceso de obtención del aceite microencapsulado se encuentran representados en su totalidad en el diagrama de flujo PFD que se presenta en la Figura 3.11.

Cada equipo fue asignado con un número único y un nombre descriptivo como se observa en el la Tabla 3.8 y en el plano de simbología de equipos que se presenta en la Figura 3.10. Las especificaciones técnicas de los equipos involucrados se detallan en el Anexo I.

La nomenclatura de los equipos se realizó de acuerdo al formato general XX-YZZ, donde XX representa la identificación en letras correspondiente al equipo, Y designa un área dentro de la planta que se presenta y ZZ corresponde a la designación numérica para cada equipo (Turton, Bailie, Whiting, Shaeiwitz y Bhattacharyya, 2012, p.21).

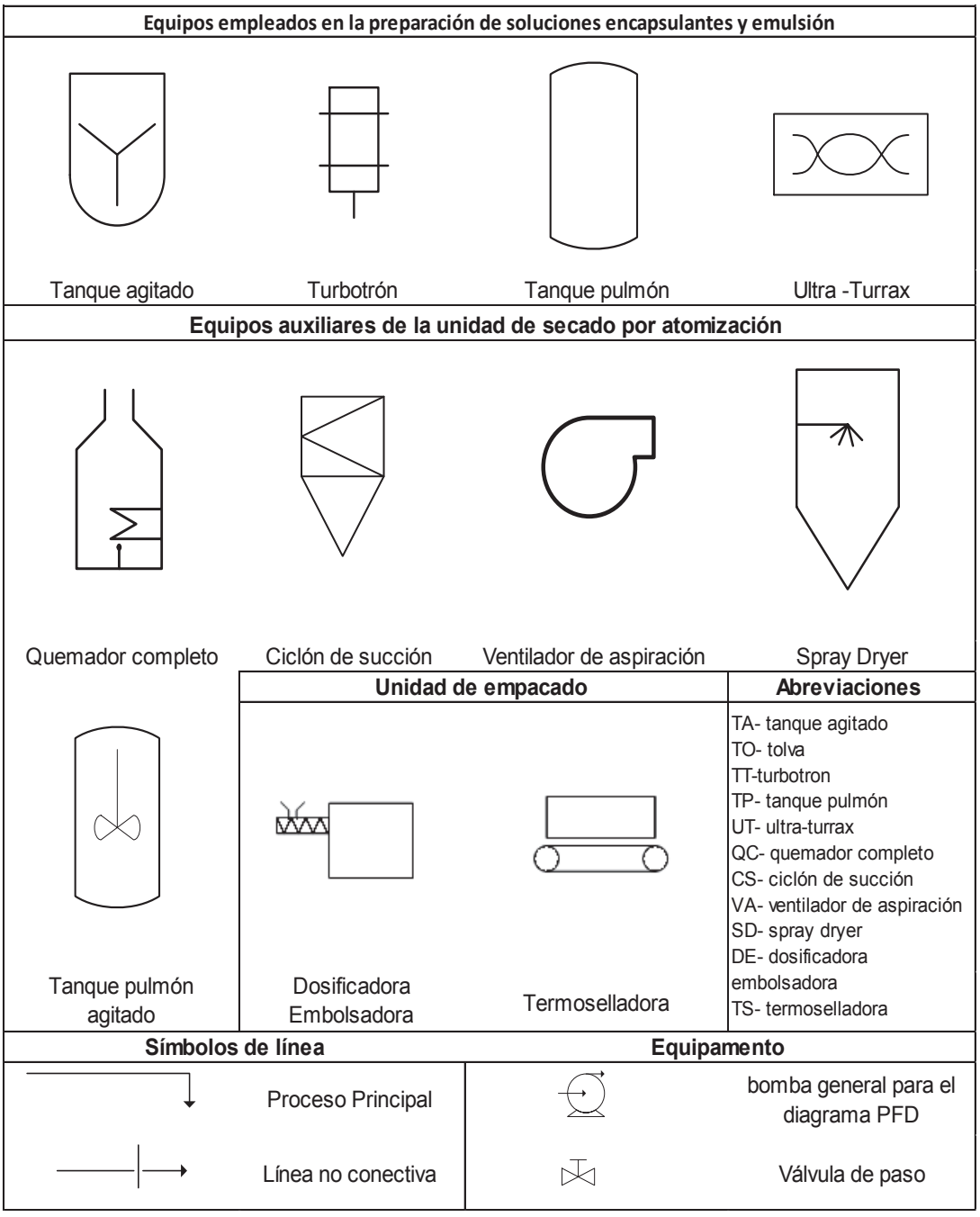
Tabla 3.8. Nomenclatura de los equipos utilizados por área y proceso

Área	Proceso	Equipos	Nomenclatura
1	Preparación de las soluciones microencapsulantes	Tanque agitado	TA-101
		Tanque agitado	TA-102
		Turbotrón	TT-103
		Turbotrón	TT-104
	Reposo, hidratación y estabilización	Tanque pulmón	TP-105
		Tanque pulmón	TP-106
	Emulsificación	Tanque pulmón	TP-107
		Ultra-Turrax	UT-108
2	Secado	Tanque pulmón	TP-201
		Quemador completo	QC-202
		Secador por atomización	SD-203
		Ventilador de aspiración	VA-204
		Ciclón de succión	CS-205
	Empacado	Tolva de almacenamiento	TO-206
		Dosificadora embolsadora	DE-207
		Termoselladora	TS-208

Los equipos fueron representados mediante símbolos que identifican a cada unidad de operación como se observa en el plano de simbología de equipos de la Figura 3.10. Para la realización del diagrama PFD se utilizaron los símbolos que se encuentran en Austin (1979, citado en Turton et al., 2012, p.18), en el que constan los símbolos establecidos por el Instituto Nacional Estadounidense de Estándares (ANSI) y un diagrama alternativo, ya que estos símbolos se los utiliza con mayor frecuencia que los que publica la Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos (ASME).

En el plano constan los equipos principales de proceso y equipos auxiliares que forman parte de la unidad llave en mano del equipo de secado que se observa en el Anexo I.

Figura 3.10. Plano de simbología de equipos utilizados en el área de producción



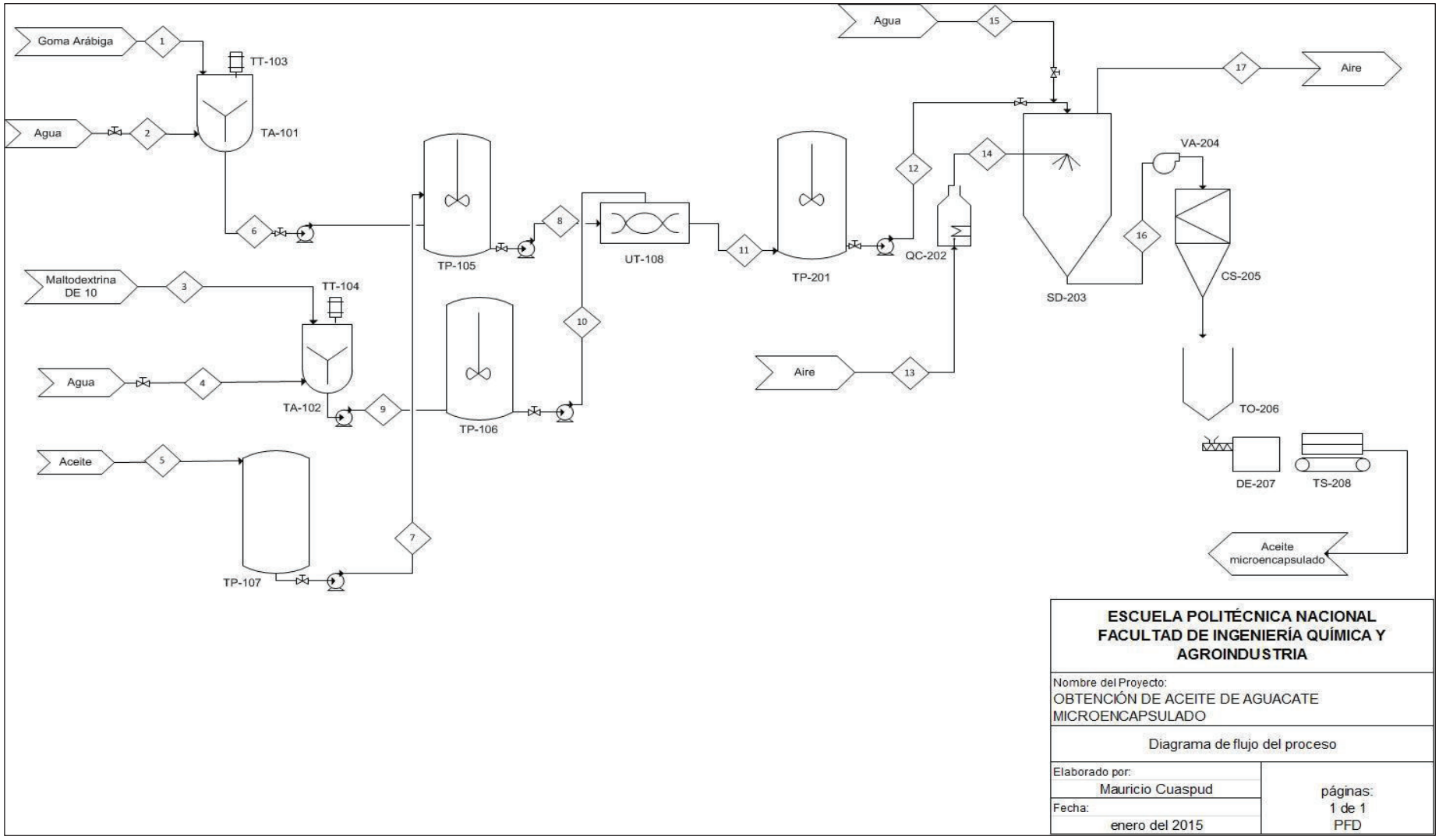


Figura 3.11. Diagrama de flujo (PFD) del proceso productivo

3.3.7. DESCRIPCIÓN DETALLADA DEL PROCESO

El proceso inicia con el suministro de aceite (5) a la línea de producción. Se dispone de un tanque pulmón TP-107 con la capacidad de almacenamiento de 7 días de suministro para cualquier imprevisto relacionado con la producción de aceite.

Para la preparación de las soluciones encapsulantes, se dispone de dos tanques de mezcla, TA-101 y TA-102, y dos equipos agitadores tipo turbotron, TT-103 y TT-104, para acelerar el proceso de disolución de los sólidos en agua, uno para la preparación de la solución de goma arábiga (6) y otro para la preparación de la solución de maltodextrina (9). El operario es el encargado de bombear el agua necesaria a cada tanque y añadir los sólidos, previo su pesaje. El proceso tiene un tiempo estimado de 1 h y se realizan 4 lotes el primer día de trabajo. Cada solución se bombea a un tanque pulmón; TP-105 para la solución de goma arábiga y TP- 106 para la solución de maltodextrina.

Luego de haber culminado la realización de los lotes de la solución de goma arábiga, el aceite (7) se bombea al tanque TP-105 donde se forma una emulsión primaria y una primera reducción del tamaño del glóbulo graso.

La emulsión primaria formada (8) y la solución encapsulante de maltodextrina (10) se bombean a un equipo ultra-turrax UT-108, el cual se encarga de formar una emulsión estable dentro la máquina debido a la alta fuerza de corte que posee. La emulsión ya formada (11) se bombea a un tanque pulmón TP-201 que forma parte de la unidad llave en mano del equipo de secado.

La emulsión (12) se bombea desde el tanque pulmón TP-201, pasa por un filtro de producto que se encarga de retener cualquier sustancia extraña y se dirige hacia el secador SD-203. La bomba dosificadora envía el producto al sistema de atomizado. Entra aire del ambiente (13) al equipo y pasa a través de un quemador QC-202 que calienta el aire, le quita la humedad y lo envía hacia un dispersor de

aire caliente (14) que entra en contacto con el producto dentro de la cámara de secado y forma las microcápsulas.
Un ventilador de aspiración VA-204 succiona el producto (16) de la cámara de secado y lo envía a un ciclón separador CS-205, de donde se retira continuamente a través de una válvula rotativa de recolección.

El aceite microencapsulado (16) se almacena en una tolva TO-206 antes de su envasado, luego es enviado a la máquina embolsadora DE-207 por medio de un tornillo sinfín que es parte de la máquina. En la embolsadora el producto es dosificado en cada empaque por medio de celdas de carga y un equipo electrónico de pesaje propios de la misma. Las bolsas cargadas de producto se llevan a la máquina termoselladora TS-208 complementaria del equipo anterior y se lleva a la bodega de producto terminado.

3.3.8. BALANCE DE MATERIALES

En las Tablas 3.9 y 3.10 se muestran los resultados del balance de masa que contiene el flujo másico total de cada corriente y sus componentes parciales.

Tabla 3.9. Resumen del balance de masa para la producción de las soluciones encapsulantes

COMPONENTE	CORRIENTE							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Flujo másico total (kg/h)	112,57	291,85	75,05	145,93	11,73	404,42	375,24	996,46
Temperatura (ºC)	20	20	20	20	20	20	20	20
Goma arábiga (kg/h)	112,57	..	..	..	..	112,57	..	225,14
Maltodextrina (kg/h)	..	..	75,05	..	..	..	..	..
Agua potable (kg/h)	..	291,85	..	145,93	..	291,85	..	583,70
Aceite de aguacate (kg/h)	..	..	..	..	11,73	..	375,24	375,24

Tabla 3.10. Resumen del balance de masa para la producción de la emulsión y aceite microencapsulado

COMPONENTE	CORRIENTE								
	9	**10**	**11**	**12**	**13**	**14**	**15**	**16**	**17**
Flujo másico total (kg/h)	220,98	441,96	1438,42	102,42	264,88	99,42	63,00	33,80	162,42
Temperatura (ºC)	20	20	20	20	20	150	20	40	90
Goma arábiga (kg/h)	..	..	225,14	16,04	..	..	..	13,52	..
Maltodextrina (kg/h)	75,05	150,10	150,10	10,69	..	..	..	9,01	..
Agua (kg/h)	145,93	291,86	875,56	62,30	170,43	4,97	63,00	..	67,97
Aceite de aguacate (kg/h)	..	..	375,24	13,38	..	..	..	11,27	..
Aire (kg/h)	..	..	..	..	94,45	94,45	..	..	94,45

3.3.9. DISEÑO BÁSICO DE LA PLANTA

Para el diseño básico de la planta se consideraron varios factores, como la capacidad de ampliación, la facilidad de movimiento dentro de la planta y el flujo continuo del producto (Casp, 2005, p.197). Se agruparon en una misma zona los procesos que necesitan de las mismas condiciones ambientales y de higiene.

La planta se diseñó en una disposición en U con respecto al ingreso de materias primas y salida del producto terminado ya que esta disposición tiene como ventajas un menor desplazamiento, acceso por una sola cara del terreno, las manutenciones son menos costosas y posibilita la ampliación por tres caras del edificio (Casp, 2005, p.197).

En las Figuras 3.12, 3.13, 3.14 y 3.15 se presentan la distribución de áreas, el movimiento de operarios, los cortes, elevaciones y fachadas de la planta procesadora.

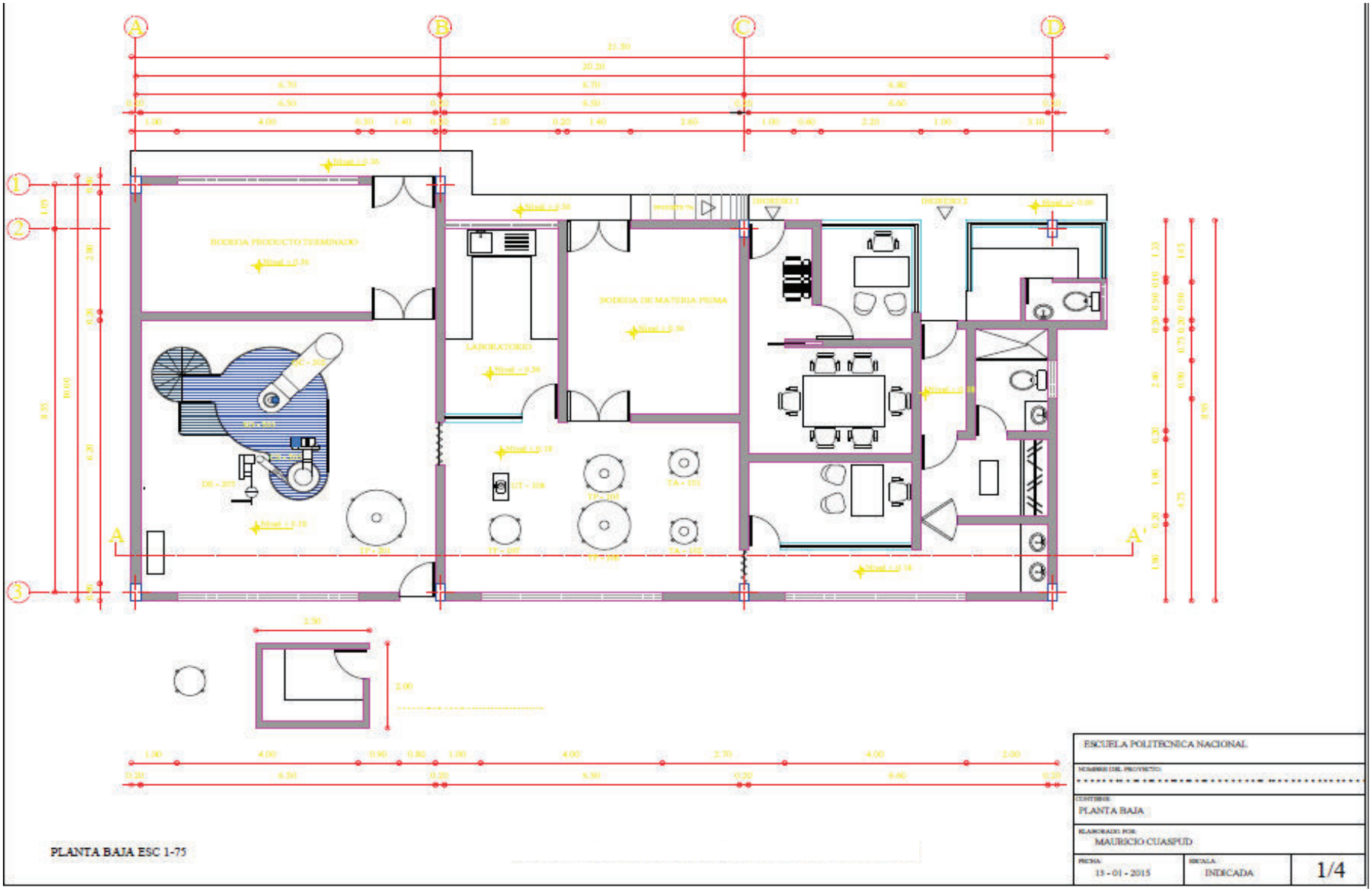


Figura 3.12. Distribución de la planta de proceso

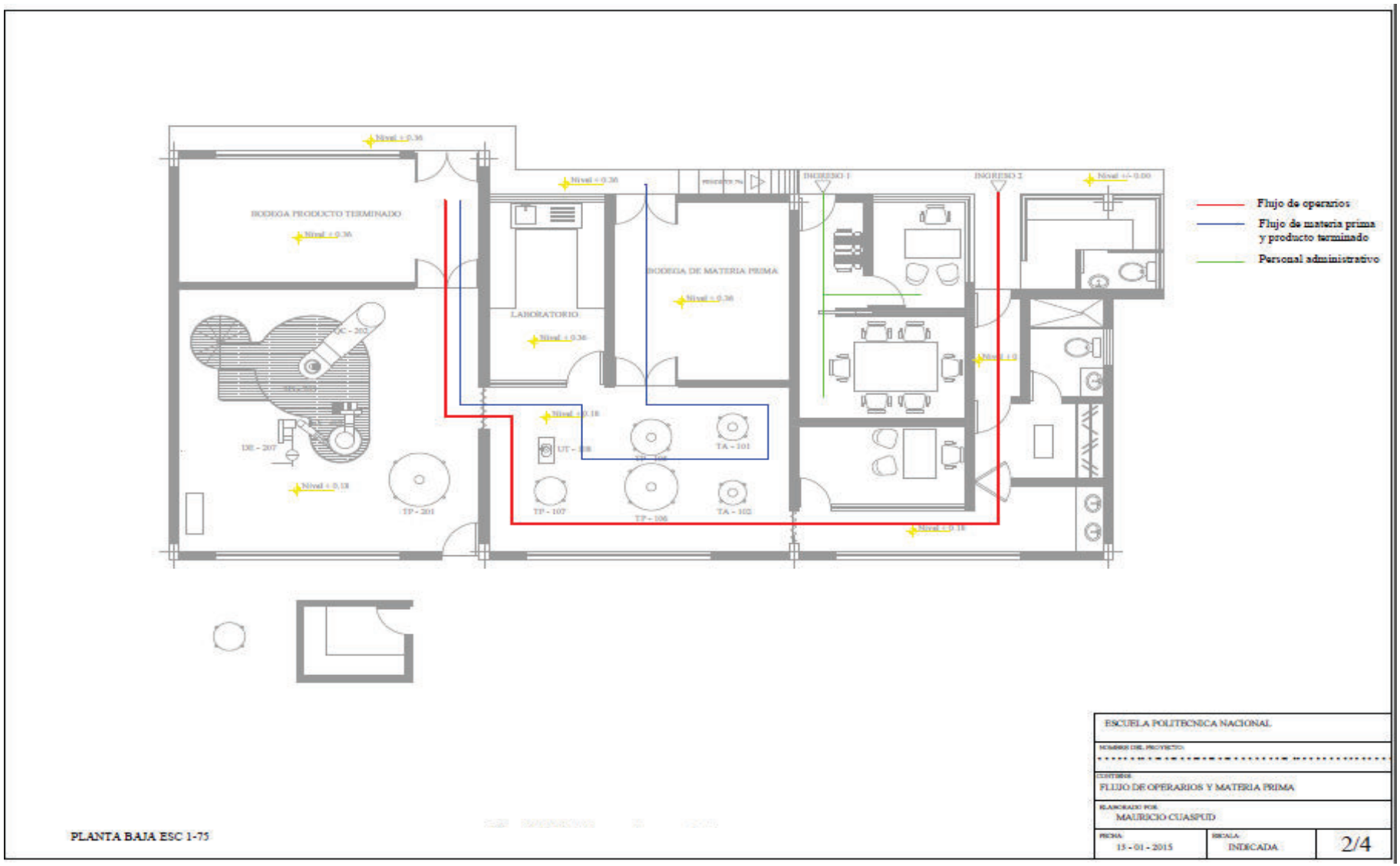


Figura 3.13. Flujo de operarios, materia prima e insumos

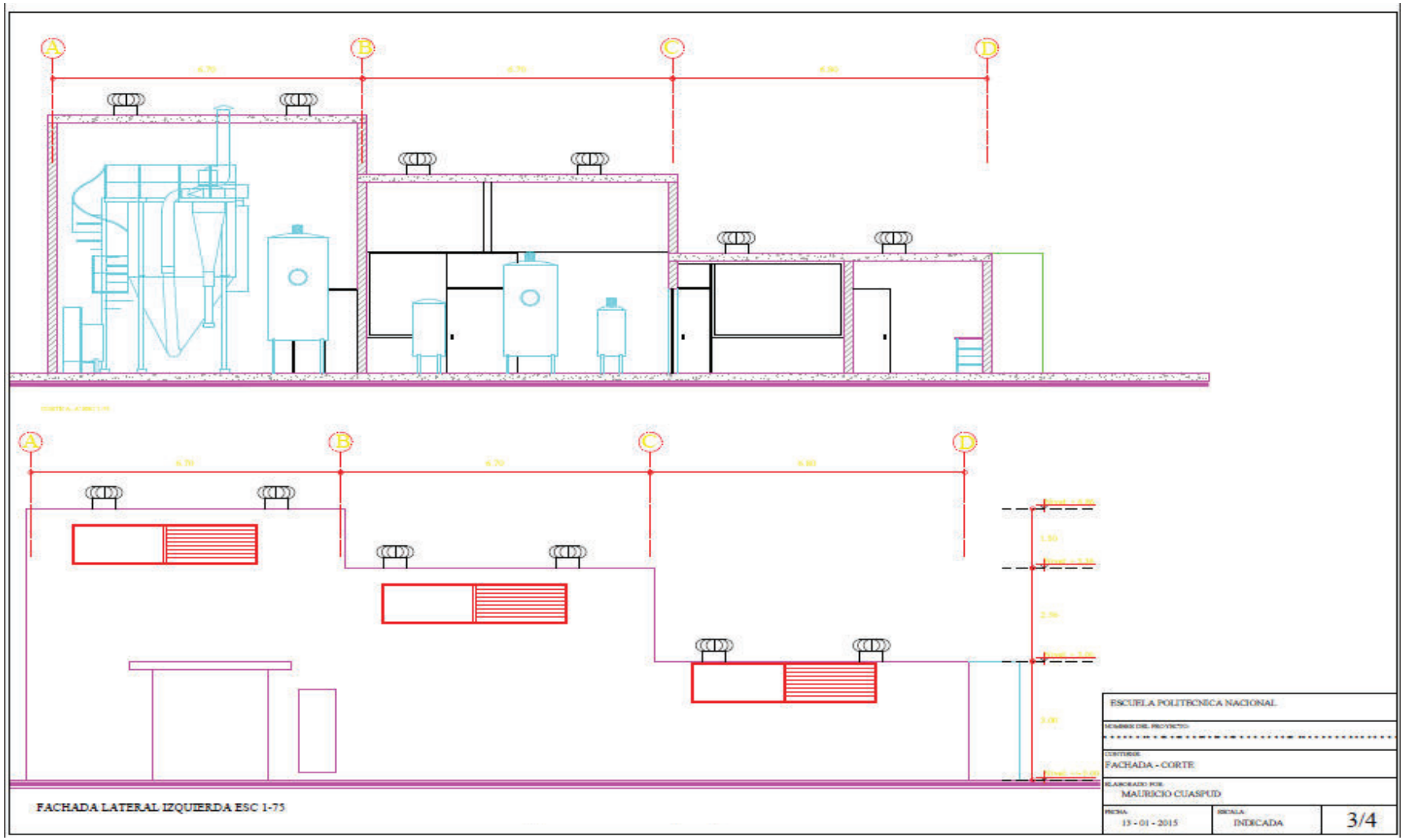


Figura 3.14. Fachada lateral izquierda y corte A–A'

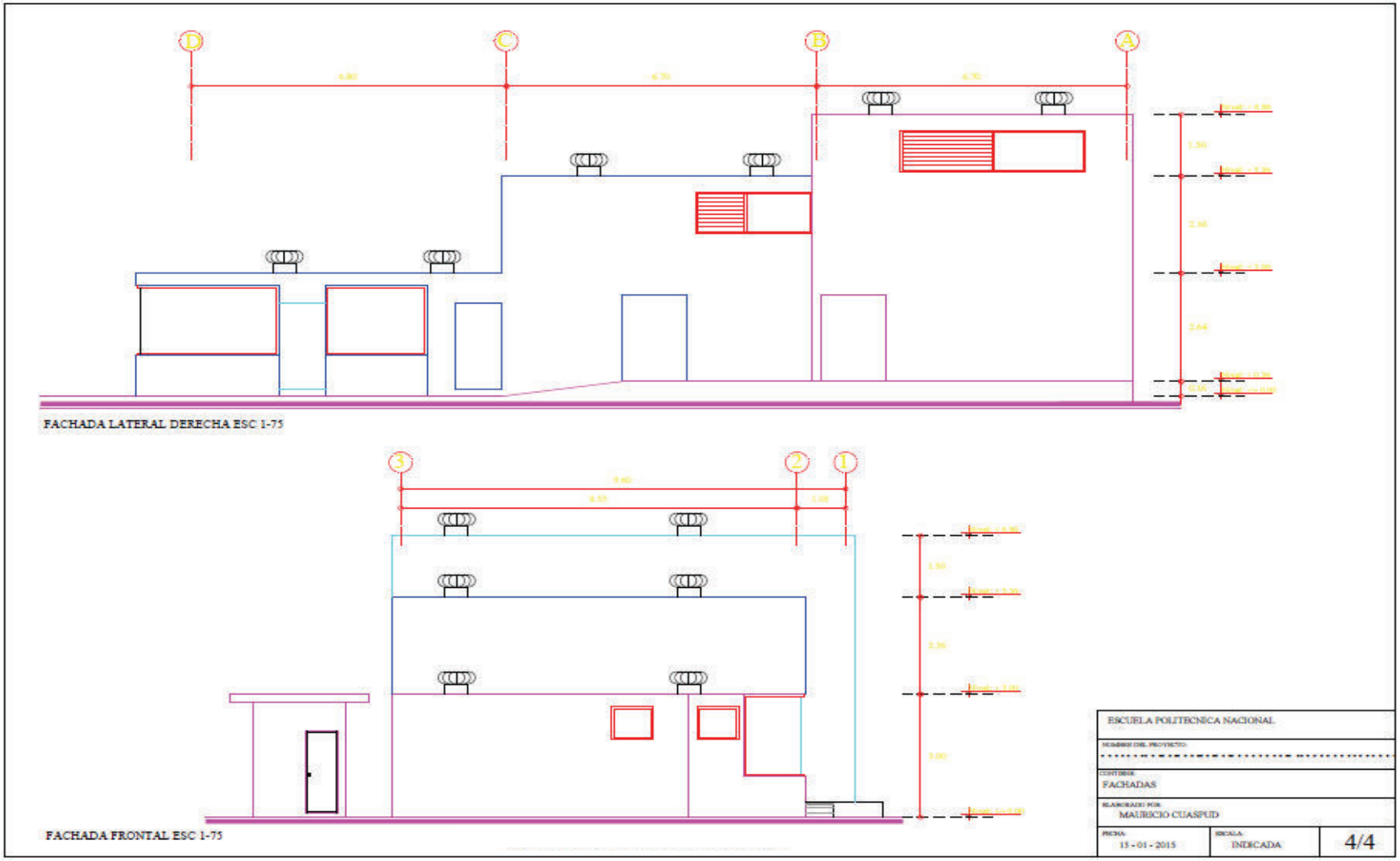


Figura 3.15. Fachada frontal y fachada lateral derecha

3.3.10. PROGRAMA DE TRABAJO

En la Tabla 3.11 se presenta el programa de trabajo para la planta de producción de aceite microencapsulado, en el diagrama constan las horas que tomará la realización de cada proceso involucrado en la obtención del producto.

Para la realización de las soluciones encapsulantes se consideró un tiempo de 1 h por lote. En una jornada de 8 h se espera preparar un máximo de 4 lotes, por esta razón se consideraron 4 h en total para el proceso de mezcla.
Los tiempos que toman en realizarse los procesos de emulsificación y secado están ligados a la capacidad máxima de operación del equipo y al volumen calculado que se debe procesar diariamente, de acuerdo al balance de masa.

El turno de trabajo empezará a las 7:00 h y finalizará a 16:00 h. El proceso de producción iniciará un día lunes, en el que únicamente se realizarán las soluciones encapsulantes y el proceso de formación de la emulsión primaria y los siguientes días se procederá a realizar la emulsión fina, el secado de la emulsión, el empacado, etiquetado y paletizado.

Tabla 3.11. Diagrama de Gantt

PROCESO	HORAS LABORALES							
	7:00-8:00	8:00-9:00	9:00-10:00	10:00-11:00	11:00-12:00	13:00-14:00	14:00-15:00	15:00-16:00
Recepción								
Mezcla								
Emulsificación (emulsión gruesa)								
Emulsificación (emulsión fina)								
Secado								
Separación								
Empacado								
Etiquetado								
Paletizado								
Limpieza de tanques								
Limpieza del secador								

3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

3.4.1. INVERSIONES

En la Tabla 3.12 se presentan los valores detallados de las inversiones necesarias previas a la puesta en marcha del proyecto, como son los activos fijos, el activo diferido y el capital de operación necesario para la puesta en marcha del proyecto.

En la Tabla 3.12 se puede observar el valor de la inversión total que corresponde a $ 616 076,00, la cual será financiada en un 40 % por los accionistas del proyecto y el 60 % restante mediante la ayuda de una institución financiera a una tasa de interés efectiva del 12,5 % (BCE, 2014). El proyecto se financiará en dichas proporciones por haber obtenido mejores resultados en los indicadores financieros VAN y TIR como se detallará en los acápites siguientes.

Tabla 3.12. Inversión total del proyecto antes de la puesta en marcha

Rubro	Valor ($)	(%)
Activo fijo		
Construcciones	36 000,00	5,84
Maquinaria y equipo	305 650,00	49,61
Instalación de maquinaria y equipos	61 130,00	9,92
Instrumentación de laboratorio	10 000,00	1,62
Tuberías y accesorios	15 283,00	2,48
Equipo y muebles de oficina	2 540,00	0,41
Imprevistos (5%)	21 530,00	3,49
Activo diferido	42 141,00	6,84
Capital de operación	121 803,00	19,77
TOTAL	**616 076,00**	**100,00**

Como se puede ver en la Tabla 3.12 los valores que más influyen sobre la inversión del proyecto son los valores por la adquisición de maquinaria y

equipos y el capital de operación que corresponden al 49,61 % y 19,77 % de la inversión total.

Nótese que la tecnología del proceso productivo influye directamente sobre la inversión y esta a su vez tiene incidencia directa sobre el capital de operación por tanto se tendrá una relación costo de operación e inversión mayor cuanto menor sea el costo de la tecnología utilizada (Sapag y Sapag, 2008, p.147).

La inversión en capital de trabajo o capital de operación consistió en realizar una cuantificación de los costos de operación que deben financiarse para un periodo de tiempo. El cálculo se lo realizó mediante el método del periodo de desfase para un tiempo estimado de 2 meses de funcionamiento de la planta (Sapag y Sapag, 2008, p.267).

Todas las inversiones de maquinaria, implementos de oficina y construcciones se detallan en el Anexo II.

3.4.2. COSTO DE OPERACIÓN

Los valores por costo de operación incluyen el costo de producción, el gasto administrativo y el gasto financiero. Hay que tener en cuenta que todos valores se determinaron en el periodo cero, es decir, antes de la inversión.

En la Tabla 3.13 se presentan los costos anuales de producción del proyecto. Dichos costos incluyen los costos de materia prima, costos de mano de obra, envases, costos energéticos, costos de agua, combustibles, control de calidad, mantenimiento, cargos por depreciación y amortización e imprevistos (Baca, 2006, p.170,171). En el Anexo III, IV y V se detallan de manera más amplia los costos por motivo de suministros (consumo energético, agua y combustible), amortización del crédito y costos de operación respectivamente.

Dentro del costo de suministros se consideró el consumo energético tanto de la planta industrial como de la zona administrativa. El valor que más influye dentro

de estos costos corresponde a la energía que emplea el secador para evaporar el agua que contiene la emulsión como se observa en el Anexo III.

En la Tabla 3.13 se observa que el rubro que más influye sobre los costos de producción corresponde a la materia prima, alrededor del 81,18 % de los costos de producción.

Dentro de los costos de materiales directos el valor de mayor peso corresponde al aceite de aguacate, seguido de la goma arábiga como se observa en el Anexo V, por lo cual para bajar los costos de producción se podría disminuir la cantidad de aceite en la formulación con lo que se tendría probablemente un producto microencapsulado con mayor eficiencia en retención de aceite y a un costo menor.

Tabla 3.13. Costos anuales de producción

Rubro	Valor ($)	(%)
Materiales Directos		
Materia Prima	548 124,00	81,18
Mano de obra directa	5 869,00	0,87
Carga Fabril		
Mano de obra indirecta	18 568,00	2,75
Materiales indirectos	2 400,00	0,36
Suministros	13 989,00	2,07
Depreciaciones		
Construcciones	1 800,00	0,27
Maquinaria y Equipo	30 565,00	4,53
Activo Intangible	8 300,00	1,23
Mantenimiento		
Maquinaria y Equipo	30 565,00	4,53
Edificios	1 800,00	0,27
SUBTOTAL	**66 1980,00**	
Imprevistos (2%)	13 240,00	1,96
TOTAL	**675 220,00**	**100,00**

La mano de obra directa incluye todo el personal que interviene directamente en el proceso de producción, mientras que la mano de obra indirecta para este proyecto hace referencia al supervisor de producción y al supervisor de calidad. En las Tablas AV.3 y AV.4 se detalla el gasto anual por concepto de mano de obra.

En la Tabla 3.14 se observa el costo de operación del proyecto. Se obtuvo que el costo de producir 1 kg de aceite microencapsulado corresponde a $ 16,03, se consideró un margen de utilidad del 15 % por lo que el precio para los cálculos posteriores se fijó en $ 18,44/ kg.

Tabla 3.14. Costos anuales operacionales del proyecto

Rubro	Valor ($)	(%)
Costo de producción	675 220,00	92,72
Gastos administrativos	6 845,00	0,94
Gastos financiero	46 206,00	6,34
TOTAL	728 270,00	100,00
kg producidos	45 425,00	
Costo unitario del producto	16,03	
Precio de venta unitario	18,44	

Productos similares como jugos naturales en polvo, microencapsulados de resveratrol y demás productos utilizados para nutrición y farmacéutica se comercializan internacionalmente con precios entre 15 y 50 $/kg, por lo que el precio establecido para el aceite microencapsulado se considera competitivo en el mercado internacional.

Cabe recalcar que el precio que se asigna al producto tendrá influencia directa sobre el nivel de ingresos de la empresa así como sobre la cantidad vendida y corresponde más a una estrategia de marketing que a una estrategia ingenieril. Por tanto, para estudios posteriores deberían considerarse: la demanda del producto, competitividad, restricciones y los costos que definan el precio mínimo (Uribe, 2011, p.284).

3.4.3. CÁLCULO DEL PUNTO DE EQUILIBRIO (PI) O PRODUCCIÓN MÍNIMA ECONÓMICA

En la Figura 3.16 se presenta el punto de equilibrio del proyecto, este valor representa el nivel de producción necesario para que los beneficios por ventas se igualen a la suma de los costos fijos y variables, es decir el valor mínimo de producción para que la empresa no incurra en pérdidas (Baca, 2006, p.180). Todos estos valores para el cálculo del PI se pueden observar en el Anexo VI.

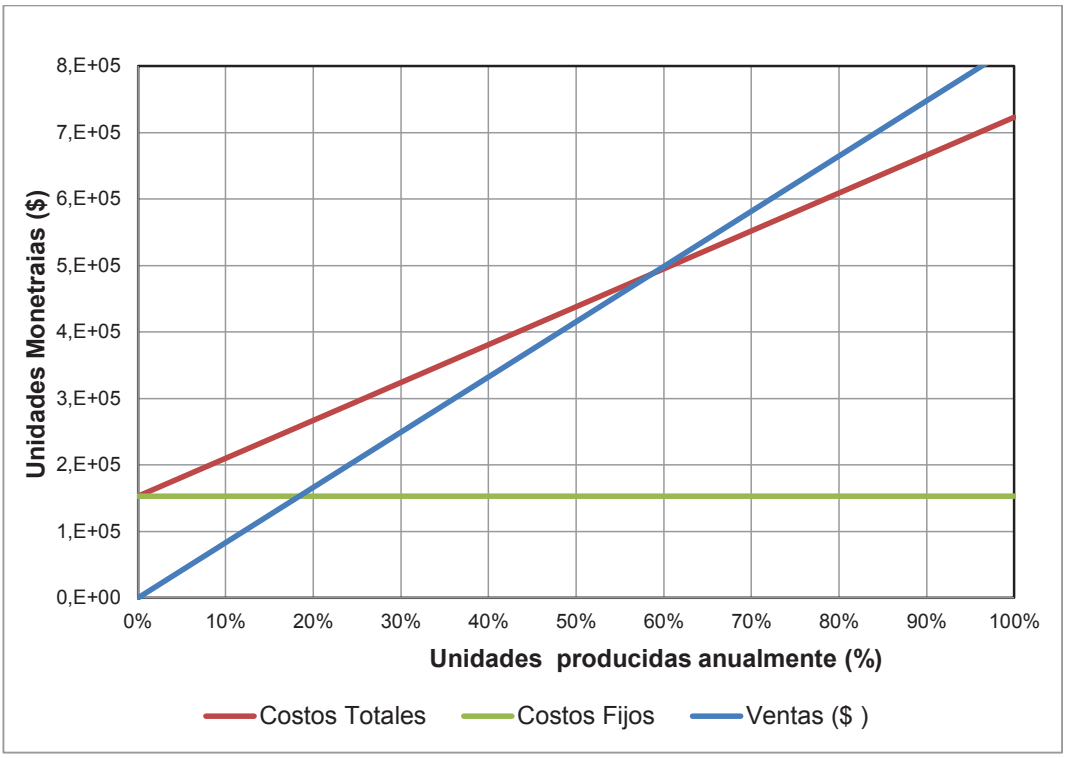


Figura 3.16. Punto de equilibrio

Se obtuvo como resultado que la empresa debe producir un mínimo de 26 558 kg de aceite microencapsulado al año para cubrir los gastos de la planta y no incurrir en pérdidas.

Además, se obtuvo que de las ventas generadas el 58,47 % se destina al pago de los costos totales que se generan por la obtención del producto, mientras que el porcentaje restante significa utilidad neta para la empresa.

3.4.4. CÁLCULO DEL VAN Y LA TIR, CON INFLACIÓN, CON FINANCIAMIENTO

El resultado de ponderar el costo del capital de los accionistas y el capital otorgado por la institución financiera dio una tasa de evaluación del proyecto correspondiente al 13,04 % como se observa en la Tabla 3.15. Dicho valor se utilizó para el cálculo del valor actual neto (VAN) que se observa en la Tabla 3.17.

El valor de la tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR) resultó de la suma de la tasa de interés pasiva (4,53 %), la inflación al año actual (4,15 %) y el riego país (5,16 %) (BCE, 2014).

Para el cálculo del flujo de caja que se observa en el ANEXO VII del cual se derivan los indicadores financieros VAN y TIR, se consideró la inflación del país reportada en los dos últimos años, que corresponde al 4,15 % según cifras del Banco Central del Ecuador.

Además se consideró el financiamiento del proyecto; 40 % de la inversión corresponde al capital de los accionistas y el 60 % al financiamiento otorgado por una institución financiera.

Tabla 3.15. Tasa de evaluación del proyecto

	Aporte (%)	**Tasa de interés (%)**	**Tasa de ponderación (%)**
Capital de accionistas	40,00	13,84	5,54
Institución financiera	60,00	12,50	7,50
Tasa de evaluación del proyecto			13,04

El VAN y la TIR son indicadores financieros y ayudan a decidir si el proyecto es viable o no. Estos valores se presentan en la Tabla 3.16, se obtuvo una TIR del 46,60 % cuando el VAN tiende a cero, dado que los dos valores resultaron positivos y la TIR fue mayor a la TMAR el proyecto se acepta como viable.

Tabla 3.16. Indicadores financieros (VAN, TIR) con inflación y con financiamiento del 60 %

Indicador financiero	Valor
Tasa interna de retorno (TIR)	46,60 %
Valor actual neto (VAN)	$ 617 097,00

3.4.5. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD DEL PROYECTO

El Análisis de sensibilidad del proyecto consistió en evaluar cómo influyen aquellas variables que están fuera del control del empresario sobre la tasa interna de retorno (TIR).

La primera de estas variables constituye el volumen de ventas, este factor influye directamente sobre los ingresos de la empresa. En el acápite 3.4.3 se observó que el volumen de producción mínimo que la planta debe tener para la capacidad actual instalada es de 26 558 kg al año. Sin embargo, si no se alcanza dicho volumen de producción los ingresos pueden ser compensados con un incremento del precio del producto pero perdería competitividad. Por otro lado, si se duplica la capacidad de la planta, se duplicarían los costos de producción y de igual manera el ingreso por ventas.

Otro factor que influye en la sensibilidad de un proyecto es la situación del país, para lo cual se parte de la suposición de que el país entra en una crisis financiera, baja la actividad industrial y que el PIB pronosticado no se da (Baca, 2006, p.236).

En la Tabla 3.17 se observan los indicadores financieros sin considerar la inflación del país. Después de obtener los resultados, se concluye que se debe aceptar realizar la inversión, ya que en ambas situaciones, con inflación y sin inflación, el VAN fue positivo y el TIR mayor al TMAR.

Tabla 3.17. Indicadores financieros (VAN, TIR) sin inflación y con financiamiento del 60 %

Indicador financiero	**Valor**
Tasa interna de retorno (TIR)	40,10 %
Valor actual neto (VAN)	$ 379 532,00

En las Tablas 3.18 y 3.19 se observan los valores de la TIR y del VAN para el proyecto con financiamiento bancario del 40 % y sin financiamiento respectivamente. Se observa la conveniencia de solicitar financiamiento por el 60 % de la inversión total, ya que tanto el VAN como la TIR con financiamiento resultaron mayores que las cifras sin financiamiento.

Tabla 3.18. Indicadores financieros (VAN, TIR) con financiamiento del 40 %

Indicador financiero	Valor
Tasa interna de retorno (TIR)	33,67%
Valor actual neto (VAN)	$ 510 658,00

Tabla 3.19. Indicadores financieros (VAN, TIR) sin financiamiento

Indicador financiero	**Valor**
Tasa interna de retorno (TIR)	22,24%
Valor actual neto (VAN)	$ 305 980,00

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

1. Al reemplazar la goma arábiga por maltodextrina en las formulaciones, el tamaño del glóbulo graso se incrementa, lo que hace que el aceite tienda a separarse de la matriz. Las mejores formulaciones fueron las de relación goma arábiga/maltodextrina 1:0 y 3:2, ya que presentaron menor tamaño del glóbulo graso, entre 203 y 243 nm debido a la mayor presencia de goma.

2. El rendimiento del producto está directamente relacionado con la temperatura de secado, ya que se observó una diferencia estadísticamente significativa ($p<0,05$) entre las muestras secas, a 180 ºC se obtuvo un rendimiento mayor que a 150 ºC.

3. El contenido de aceite superficial y la eficiencia de microencapsulación están relacionadas con la composición de las emulsiones, y no depende de la temperatura de secado. Las formulaciones de proporción goma arábiga/maltodextrina 1:0 y 3:2 presentan menor contenido de aceite superficial debido a la presencia de la goma arábiga que atrapa a los glóbulos grasos lo que limita el movimiento del aceite hacia la superficie de las microcápsulas y por ende se obtienen partículas con una mayor eficiencia de microencapsulación.

4. Del cálculo del punto de equilibrio se obtuvo como resultado que la empresa debe trabajar al 58,66 % de su capacidad antes de incurrir en pérdidas. El proyecto presentó un VAN > 0 y una TIR > TMAR por lo que se considera el proyecto como viable. Además, se observó la conveniencia de solicitar financiamiento por el 60 % de la inversión total, ya que tanto el VAN como la TIR con financiamiento resultaron mayores que las cifras sin financiamiento en el análisis de sensibilidad del proyecto.

4.2. RECOMENDACIONES

1. Realizar ensayos de microencapsulación con otros materiales de pared como harina de quinua, soya y el haba a fin de obtener un producto de un valor nutricional mayor destinado a la fortificación de fórmulas infantiles.

2. Realizar un estudio de cómo influye el uso del disco centrífugo y el aspersor vertical sobre las características físicas de las microcápsulas y la eficiencia de microencapsulación.

3. Desarrollar un estudio de mercado y aceptabilidad de producto a nivel industrial.

4. Estudiar el uso de dióxido de silicio como antiaglomerante en productos microencapsulados.

5. Realizar un estudio de la vida útil de un producto enriquecido mediante un aceite microencapsulado.

BIBLIOGRAFÍA

1. Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A. y Rafiee, S. (2012). Influence of Wall Material and Inlet Drying Air Temperature on the Microencapsulation of Fish Oil by Spray Drying. *Food and Bioprocess Technology*, *6*(6), 1561–1569. doi:10.1007/s11947-012-0796-7

2. Aghbashlo, M., Mobli, H., Madadlou, A. y Rafiee, S. (2013). Fish oil microencapsulation as influenced by spray dryer operational variables. *International Journal of Food Science and Technology*, *48*(1), 1707–1713. doi:10.1111/ijfs.12141

3. Alvarenga Botrel, D., Vilela Borges, S., Victoria de Barros Fernández, R., Dantas Viana, A., María Gomes da Costa, J. y Reginaldo Marques, G. (2012). Evaluation of spray drying conditions on properties of microencapsulated oregano essential oil. *International Journal of Food Science & Technology*, *47*(11), 2289–2296. doi:10.1111/j.1365-2621.2012.03100.x

4. Alvizouri Muñoz, M. y Rodríguez Barrón, A. (2009). Efectos médicos del aguacate. Medicina Interna de México, *25*(5), 379–385.

5. AOAC. (2005). Official Method 920.85. Fat crude or Ether Extract in Flour.

6. AOAC. (2005). Official Method 934.01. Moisture in Animal Feed.

7. AOAC. (2005). Official Method 965.33. Peroxide Value of Oils and Facts.

8. Baca, G. (2006). Evaluación de proyectos. (5ta. Ed.). México, México: Mc Graw Hill.

9. Bae, E. K. y Lee, S. J. (2008). Microencapsulation of avocado oil by spray drying using whey protein and maltodextrin. *Journal of Microencapsulation, 25*(8), 549–560. doi: 10.1080/02652040802075682

10. Banco Central del Ecuador. Recuperado de http://contenido.bce.fin.ec/ (Septiembre, 2014).

11. Baraona, M. y Sancho, E. (2000). *Fruticultura especial: Aguacate y mango*. (2 [a] Ed.). San José, Costa Rica: Editorial Universidad Estatal a distancia.

12. Benita, S. (2006). *Microencapsulation, methods and industrial applications*. *Angewandte Chemie (International ed. in English)* (2nd ed., Vol. 14). New York: CRC Press. doi:10.1002/anie.197505391.

13. Bernal, J. A., Diaz, C. A. y Tamayo, A. (2008). *Tecnología para el Cultivo del Aguacate.* *5*(1). Recuperado de http://www.corpoica.org.co/sitioweb//webbac/documentos/tecnologacultivoaguacate.pdf (Agosto, 2013)

14. Birkbeck, J. (2001). *Health Benefits of Avocado Oil*. Recuperado de http://www.olivado.com/studies.htm (Octubre, 2013).

15. Bravo, F. N. (2008). Aceite de semilla de aguacate y su múltiple aprovechamiento. *IDEASS, 5*(1), Recuperado de http://www.ideassonline.org/pic/doc/BrochureAguacate.pdf (Octubre, 2013)

16. Bringas-Lantigua, M., Expósito-Molina, I., Reineccius, G. A., López-Hernández, O. y Pino, J. A. (2011). Influence of Spray-Dryer air temperatures on encapsulated mandarin oil. *Drying Technology*, *29*(5), 520–526. doi:10.1080/07373937.2010.513780.

17. Calvo, P., Castaño, Á. L., Lozano, M. y González-Gómez, D. (2012). Influence of the microencapsulation on the quality parameters and shelf-life of extra-virgin olive oil encapsulated in the presence of BHT and different capsule wall components. *Food Research International*, *45*(1), 256–261. doi:10.1016/j.foodres.2011.10.036.

18. Calvo, P., Hernández, T., Lozano, M., y González-Gómez, D. (2010). Microencapsulation of extra-virgin olive oil by spray-drying: Influence of wall material and olive quality. *European Journal of Lipid Science and Technology*, *112*(8), 852–858. doi:10.1002/ejlt.201000059

19. Carneiro, H. C. F., Tonon, R. V., Grosso, C. R. F., & Hubinger, M. D. (2013). Encapsulation efficiency and oxidative stability of flaxseed oil microencapsulated by spray drying using different combinations of wall materials. *Journal of Food Engineering*, *115*(4), 443–451. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.03.033

20. Casp, A. (2005). *Diseño de Industrias Agroalimentarias*. Madrid, España: Grupo Mundi Prensa.

21. Castañeta, H., Gemio, R., Yapu, W. y Nogales, J. (2011). Microencapsulación, un método para la conservación de propiedades fisicoquímicas y biológicas de sustancias químicas. *Revista Boliviana de Química*, *28*(2), 135–140.

22. Champagne, C. P. y Fustier, P. (2007). Microencapsulation for the improved delivery of bioactive compounds into foods. *Current Opinion in Biotechnology*, *18*(2), 184–190.

23. Chanderbali, A.S., Soltis, D.E., Soltis, P.S. y Wolstenholme, B.N. (2002). Taxonomy and Botany. En Whiley, A. W., Schaffer, B. y Wolstenholme, B. N. (Ed). *The Avocado Botany, production and uses* (pp. 15-39).

24. Consejo Metropolitano de Quito. (2003). Ordenanza 3457: Normas de Arquitectura y Urbanismo. Recuperado de http://www.quito.gob.ec/ley-de-transparencia/file/199-regulaciones-normas-de-arquitectura-y-urbanismo (Julio, 2014)

25. Cook, M. T., Tzortzis, G., Charalampopoulos, D. y Khutoryanskiy, V. V. (2012). Microencapsulation of probiotics for gastrointestinal delivery. *Journal of controlled release : official journal of the Controlled Release Society*, *162*(1), 56–67. doi:10.1016/j.jconrel.2012.06.003.

26. CORPEI. (2009). Perfil de aguacate. Quito, Ecuador. Recuperado de http://www.pucesi.edu.ec/pdf/aguacate.pdf (Junio, 2013)

27. Desai, K. G. y Jin Park, H. (2005). Recent Developments in Microencapsulation of Food Ingredients. *Drying Technology*, *23*(7), 1361–1394. doi:10.1081/DRT-200063478

28. Dreher, M.L. y Davenport, A.L. (2013). Hass Avocado Composition and Potential Health Effects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53 (7), 738-750. doi: 10.1080/10408398.2011.556759.

29. Dubey, R., Shami, T. C. y Rao, K. U. (2009). Microencapsulation technology and applications. *Defence Science Journal*, *59*(1), 82–95.

30. Eraso, M. O. y Herrera, A. (2013). Use of starches and milk proteins in microencapsulation. *International Journal of Vegetable Science*. 1-29. doi:10.1080/19315260.2013.803181.

31. Estevinho, B. N., Rocha, F., Santos, L. y Alves, A. (2013). Microencapsulation with chitosan by spray drying for industry applications – A review. *Trends in Food Science & Technology*, *31*(2), 138–155. doi:10.1016/j.tifs.2013.04.001.

32. FAO. (2012). Productores ecuatorianos de aguacate buscan incrementar exportaciones. Recuperado de http://www.fao.org/agronoticias/agro-noticias/detalle/es/c/121846/ (Mayo, 2014).

33. Fernandes, R. V., Borges, S. V. y Botrel, D. A. (2014). Gum arabic/starch/maltodextrin/inulin as wall materials on the microencapsulation of rosemary essential oil. *Carbohydrate Polymers*, *101*, 524–32. doi:10.1016/j.carbpol.2013.09.083.

34. Forero, F., García, J. y Cárdenaz-Hernández, J. F. (2007). Situación y avances en la poscosecha y procesamiento del aguacate (*Persea americana Mill.)*. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, *1*(2), 189–200.

35. García, E., Gutiérrez, S., Nolasco, H., Carreón, L. y Arjona, O. (2005). Lipid composition of shark liver oil: effects of emulsifying and microencapsulation processes. *European Food Research and Technology*, *222*(5-6), 697–701. doi:10.1007/s00217-005-0129-4

36. GEA Process Engineering. (2014). GEA Niro Absorber Chamber for SDA. Recuperado de http://www.niro.com/NIRO/cmsdoc.nsf/webdoc/webb8ckj7c (Enero, 2014)

37. Gharsallaoui, A., Roudaut, G., Chambin, O., Voilley, A. y Saurel, R. (2007). Applications of spray-drying in microencapsulation of food ingredients: An overview. *Food Research International*, 40(9), 1107–1121. doi:10.1016/j.foodres.2007.07.004.

38. Ghosh, S. K. (2006). *Functional Coatings*. (S. K. Ghosh, Ed.) (1st ed., pp. 1–28). Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH and CO KGaA.

39. Gouin, S. (2004). Microencapsulation. *Trends in Food Science & Technology*, *15*(7-8), 330–347. doi:10.1016/j.tifs.2003.10.005.

40. Gracia, O. (2000). *Goma Arábiga: una maravilla natural que nos beneficia a todos*. México D.F. Recuperado de http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/GomaArabiga_1838.pdf (Octubre, 2013)

41. I Ré, M. (1998). Microencapsulation by Spray Drying. *Drying Technology*, *16*(6), 1195–1236. doi:10.1080/07373939808917460.

42. Instituto nacional de estadística y censos (INEC). (2012). Productores de aguacate buscan incrementar exportaciones. *Boletín Agropecuario Mensual N^{o} 18*, 1–6. Recuperado de www.inec.gob.ec (Enero, 2014)

43. ISO 13321. (1996). Particle size analysis: Photon correlation spectroscopy.

44. ISO 22412. (2008). Particle size analysis: Dynamic light scattering.

45. Jafari, S., Assadpoor, E., He, Y. y Bhandari, B. (2008). Encapsulation efficiency of food flavours and oils during Spray Drying. *Drying Technology, 26*(7), 816–835. doi:10.1080/07373930802135972.

46. Jiménez, M., Aguilar, R., De, M., Zambrano, L. y Kolar, E. (2001). Propiedades físicas y químicas del aceite de aguacate obtenido de puré deshidratado por microondas. *Journal of the Mexican Chemical Society, 45*(2), 89–92.

47. Kissel, T., Maretschek, S., Packhauser, C., Schnieders, J. y Seidel, N. (2006). Microencapsulation Techniques for Parenteral Depot Systems and their application in the pharmaceutical industry. En Benita, S. (Ed.). *Microencapsulation, methods and industrial applications*. *Angewandte Chemie (International ed. in English)* (2nd ed., Vol. 158, p. 99-118). New York: CRC Press. doi:10.1002/anie.197505391

48. Knight, R.J. (2002). History, distribution and uses. En Whiley, A. W., Schaffer, B. y Wolstenholme, B. N. (Ed). *The Avocado Botany, production and uses* (2 [a] Ed, pp. 1-15).

49. Krishnan, S., Kshirsagar, A., y Singhal, R. (2005). The use of gum arabic and modified starch in the microencapsulation of a food flavoring agent. *Carbohydrate Polymers*, *62*(4), 309–315. doi:10.1016/j.carbpol.2005.03.020

50. Kuang, S. S., Oliveira, J. C. y Crean, A. M. (2010). Microencapsulation as a tool for incorporating bioactive ingredients into food. *Critical reviews in food science and nutrition*, *50*(10), 951–968. doi:10.1080/10408390903044222.

51. Lam, P. L. y Gambari, R. (2014). Advanced progress of microencapsulation technologies: In vivo and in vitro models for studying oral and transdermal drug deliveries. *Journal of Controlled Release : Official Journal of the Controlled Release Society*. doi:10.1016/j.jconrel.2013.12.028

52. Laohasongkram, K., Mahamaktudsanee, T. y Chaiwanichsiri, S. (2011). Microencapsulation of Macadamia oil by spray drying. *Procedia Food Science*, *1*, 1660–1665. doi:10.1016/j.profoo.2011.09.245.

53. Lawson, O., Oyewumi, A., Ologunagba, F. y Ojomo, A. (2010). Evaluation of the parameters affecting the solvent extraction of soybean oil. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, *5*(10), 51–55.

54. León, J. F. (1999). *Manual del cultivo del aguacate (Persea americana) para los valles interandinos del Ecuador: Proyecto fruticultura INIAP COSUDE*. (1ª Ed.) Quito, Ecuador.

55. Lopera, S., Guzmán, C., Cataño, C. y Gallardo, C. (2009). Desarrollo y caracterización de micropartículas de ácido fólico formadas por secado por aspersión, utilizando goma arábiga y maltodextrina como materiales de pared. *Vitae, Revista de La Facultad de Química Farmaceútica*, *16*(1), 55–65.

56. López, O. D., Márquez, C., Mayo, O., Toledo, C. S. y Pérez, E. S. (2009). Características del Aceite de Semillas de *Cucurbita Pepo L*. Microencapsulado mediante Secado por Aspersión con Maltodextrina y Goma Arábiga. *Latin American Journal of Pharmacy*, *28*(4), 628–632.

57. McClements, D. J. (2004). *Food Emulsions, principles, practices, and Techniques* (2nd ed., p. 597). Washington, D.C.: CRC Press.

58. Najjar, R. (2012). *Microemulsions, an introduction to properties and applications* (p. 229). Croacia: InTech. doi: 10.5772/2300

59. Nazzaro, F., Orlando, P., Coppola, R. y Fratianni, F. (2012). Microencapsulation in food science and biotechnology. *Current Opinion in Biotechnology*, *23*(2), 182–186. doi:10.1016/j.copbio.2011.10.001.

60. Onwulata, C. I. (2013). Microencapsulation and Functional Bioactive Foods. *Journal of Food Processing and Preservation*, *37*, 510–532. doi:10.1111/j.1745-4549.2012.00680.x

61. Pamplona, J. (2003). *El poder medicinal de los alimentos*. (1ra ed). Buenos Aires, Argentina: Editorial Safeliz, S.L.

62. Parra, R. A. (2010). Revisión : Microencapsulación de alimentos. *Facultad Nacional de Agronomía de Medellín, 63*(2), 5669–5684. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179918602020 (Marzo, 2013)

63. Parzanese, M. (2010). Tecnologías para la industria alimentaria, 20(1), 1–12. Recuperado de http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/sectores/tecnologia/Ficha_20_Microencapsulación.pdf (Julio, 2013)

64. Pérez, R. R., Villanueva, S. R. y Cosío, R. R. (2005). El aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. *e-Gnosis, 3*(10), 1–11. Recuperado de http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=73000310 (Septiembre, 2013)

65. Plank, R. (2005). *El empleo del frío en la industria de la alimentación*. (2da. Ed). Barcelona, España: Editorial Reverté, S.A.

66. ProChile. (2011). Estudio de Mercado Aceite de Palta en Ecuador. Recuperado de: http://www.prochile.gob.cl/wp-content/blogs.dir/1/files_mf/documento_11_03_11185946.pdf

67. Reineccius, G. A. (2004). The Spray Drying of Food Flavors. *Drying Technology*, *22*(6), 1289–1324. doi:10.1081/DRT-120038731

68. Reinoso, M. (2013). El cultivo del aguacate HASS, una gran alternativa exportable para el Ecuador. *AGROECUADOR, 6*(2), 1-30.

69. Roccia, P., Martínez, M. L., Llabot, J. M. y Ribotta, P. D. (2014). Influence of spray-drying operating conditions on sunflower oil powder qualities. *Powder Technology*, (1), 1–30. doi:10.1016/j.powtec.2014.01.044.

70. Rocha, G. A., Fávaro-Trindade, C. S. y Grosso, C. R. (2012). Microencapsulation of lycopene by spray drying: Characterization, stability and application of microcapsules. *Food and Bioproducts Processing*, *90*(1), 37–42. doi:10.1016/j.fbp.2011.01.001.

71. Rodea-González, D. A., Cruz-Olivares, J., Román-Guerrero, A., Rodríguez-Huezo, M. E., Vernon-Carter, E. J. y Pérez-Alonso, C. (2012). Spray-dried encapsulation of chia essential oil (Salvia hispanica L.) in whey protein concentrate-polysaccharide matrices. *Journal of Food Engineering*, *111*(1), 102–109. doi:10.1016/j.jfoodeng.2012.01.020.

72. Rosas-Flores, W., Ramos-Ramírez, E. G. y Salazar-Montoya, J. A. (2013). Microencapsulation of Lactobacillus helveticus and Lactobacillus delbrueckii using alginate and gellan gum. *Carbohydrate Polymers*, *98*(1), 1011–1017. doi:10.1016/j.carbpol.2013.06.077.

73. Sáenz, C. (2006.). *Boletín de servicios agrícolas de la FAO: Utilización agroindustrial del nopal.* (Ed. 162). Roma, Italia.

74. Sandoval Aldana, A., Forero Longas, F. y García Lozano, J. (2010). Postcosecha y transformación de aguacate: Agroindustria rural innovadora. *CORPOICA, 105*. Recuperado de http://www.karisma.org.co/publico_hbotero/CDplantasequiposabril 2012/5POSTCOSECHADEAGUACATE.pdf_(Julio, 2013)

75. Sapag, N. y Sapag, R. (2008). Preparación y evaluación de proyectos. (5ta. Ed.). Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

76. Schrooyen, P. M., Van Der Meer, R., y De Kruif, C. G. (2001). Microencapsulation: its application in nutrition. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 60(4), 475–479.

77. Sistema Nacional de Información (SNI). Secretaria Nacional de Planificación y desarrollo-Información Agropecuaria. *III Censo Nacional Agropecuario*. Recuperado de http://www.sni.gob.ec/web/guest_(Septiembre, 2013)

78. Tonon, R. V., Grosso, C. R. F. y Hubinger, M. D. (2011). Influence of emulsion composition and inlet air temperature on the microencapsulation of flaxseed oil by spray drying. *Food Research International*, *44*(1), 282–289. doi:10.1016/j.foodres.2010.10.018

79. Turton, R., Bailie, R. C., Whiting, W. B., Shaeiwitz, J. A. y Bhattacharyya, D. (2012). *Analysis, Synthesis and Design of Chemical Processes* (4ª Ed.). Prentice Hall.

80. Uribe, R. (2011). *Costos para la toma de decisiones*. (1ra. Ed). Bogotá, Colombia: Mc Graw Hill.

81. Vega, A. (2004). *Guía para la elaboración de aceites comestibles, caracterización y procesamiento de nueces.* (Ed. 139). Bogotá, Colombia: Serie Ciencia y Tecnología, 11-16.

82. Velasco, J., Dobarganes, C., y Márquez-Ruiz, G. (2003). Variables affecting lipid oxidation in dried microencapsulated oils dried microencapsulated oils are essentially. *Grasas y Aceites*, *54*(3), 304–314.

83. Villavicencio, A. y Vásquez, W. (2009). *Guía técnica de cultivos: INIAP*. (73). Quito, Ecuador.

84. Yáñez, J. F., Salazar, J. A. M., Chaires, L. M., Jiménez, J. H., Márquez, M. R. y Ramos, E. G. R. (2002). Aplicaciones biotecnológicas de la microencapsulación. *Avance y perspectiva, 21*, 313–319. Recuperado de https://es.scribd.com/doc/67652174/Aplicaciones-Biotecnologicas-ME (Septiembre, 2013)

85. Zuidam, N. J. y Shimoni, E. (2010). Overview of Microencapsulates for Use in Food Products or Processes and Methods to Make Them. En N. J. Zuidam & V. A. Nedovié (Eds.), *Encapsulation Technologies for Active Food Ingredients and Food Processing* (pp. 3–30). Springer Science+Business Media. doi:10.1007/ 978-1-4419-1008-0_2

ANEXOS

ANEXO I

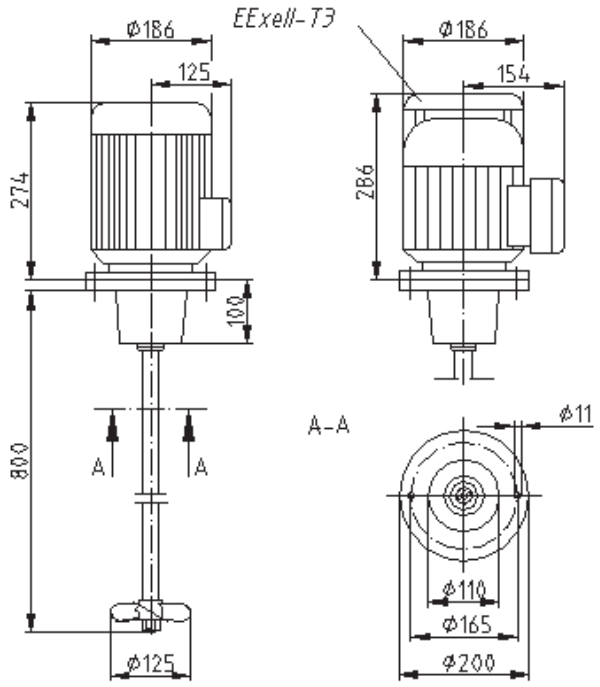
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS

HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Nº 01	
EQUIPO: IKA-TURBOTRON RK-00	**CÓDIGO DEL EQUIPO:** TT-103 TT-104
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Acero inoxidable AISI 304	**Nº UNIDADES** 2

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Tamaño del lote máximo (H2O) : 500L
Temperatura de proceso máxima: 120 ºC
Potencia del motor: 0,37 kW
Velocidad: 1000 rpm
Peso aproximado: 14 kg

ESQUEMA DEL EQUIPO

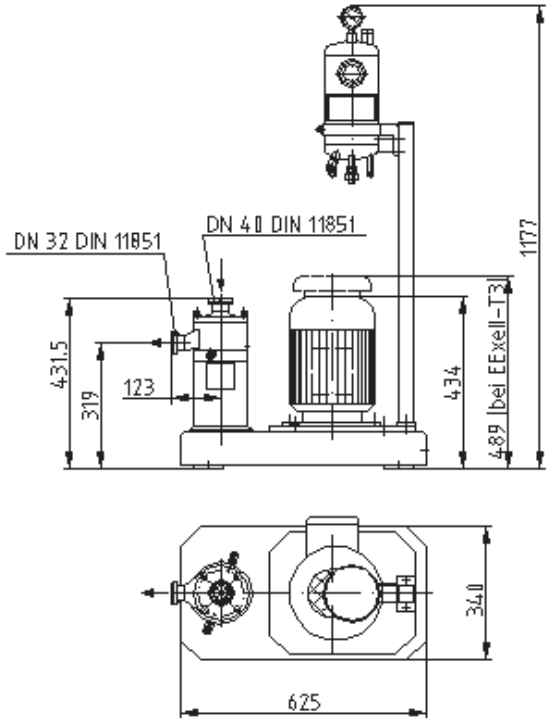


HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Nº 02	
EQUIPO: ULTRA-TURRAX UTL 2000/05	**CÓDIGO DEL EQUIPO:** UT-108
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Acero inoxidable 316 SS	**Nº UNIDADES** 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Flujo máximo: 2500 L/h
Viscosidad máxima: 5000 mPa.s
Potencia del motor: 4 kW
Velocidad: 3000 rpm
Presión de operación máxima: 16 bar

ESQUEMA DEL EQUIPO

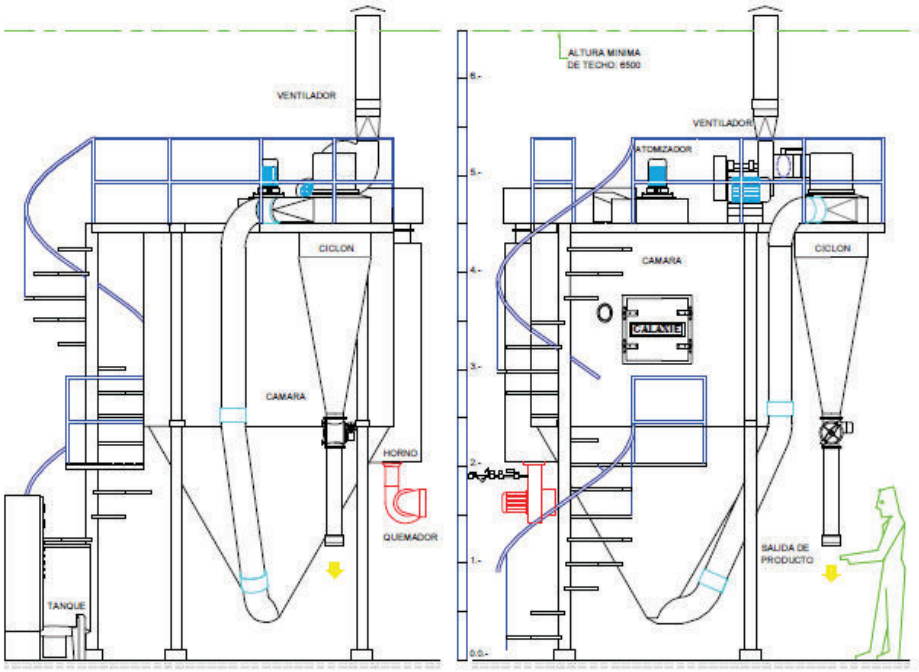


HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Nº 03	
EQUIPO: Planta de secado GALAXIE Modelo 2520 conjunto general:	**CÓDIGO DEL EQUIPO:** SD-203
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Acero inoxidable AISI 304	**Nº UNIDADES** 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Evaporación de agua: 63 L/h
Consumo de combustible: 80 000 kcal/ h
Consumo eléctrico con lavador: 15 kW/h
Peso aproximado: 4 000 kg
Espacio requerido mínimo: 4,5 × 4,5 × 6,5 m.

ESQUEMA DEL EQUIPO



HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Nº 04	
EQUIPO: Embolsadora modelo SIRBAG	**CÓDIGO DEL EQUIPO:** DE-207
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Acero inoxidable AISI 304	**Nº UNIDADES** 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Apta para el envasado de productos en polvo en bolsas de boca abierta

Capacidad máxima : 50 kg

Carga por tornillo sinfín horizontal, de acero inoxidable, con accionamiento directo por motorreductor con control electrónico de velocidad.

Sujetabolsas de accionamiento neumático. Pesaje directo sobre la bolsa

Espacio mínimo requerido: 1,5 × 0,5 m.

ESQUEMA DEL EQUIPO

HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Nº 05	
EQUIPO: Termoselladora de bolsas	**CÓDIGO DEL EQUIPO:** TS-208
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Acero inoxidable AISI 304	**Nº UNIDADES** 1

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Equipo complementario a la máquina embolsadora SIRBAG

Mordazas lineales de 500 mm de ancho, accionadas por cilindro neumático y automatizado en tiempo de cierre.

Sellado por impulso para polietileno. Tablero eléctrico de control. Carro transportador de la bolsa

Espacio mínimo requerido: 0,5 × 0,5 m.

ESQUEMA DEL EQUIPO

HOJA DE ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS EQUIPOS Nº 06			
EQUIPO: Tanques		**Nº UNIDADES:** 6	
MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Acero inoxidable AISI 304			
DIMENSIONES			
CÓDIGO	**Capacidad (m^3)**	**H (m)**	**∅ (m)**
TA-101	0,46	1,32	0,66
TA-102	0,33	1,18	0,59
TP-105	1,07	1,76	0,88
TP-106	2,41	2,30	1,15
TP-107	0,50	1,36	0,68
TP-201	3,47	2,60	1,30

ANEXO II

INVERSIONES

La inversión inicial comprende la adquisición de todos los activos fijos o tangibles y los activos diferidos necesarios para iniciar el proceso operacional de la empresa (Baca, 2006, p.173).

En la Tabla AII.1 se detallan los costos correspondientes a la adquisición de los equipos involucrados en el proceso y el dividendo anual de amortización para 10 años.

Tabla AII. 1. Costo de los equipos utilizados en el proceso productivo

Designación del equipo	Número de unidades	Valor unitario ($)	Valor Total ($)	Dividendo Anual de Amortización ($)
Tanques agitados	2	5 000,00	10 000,00	1 000,00
Turbotron	2	12 000,00	24 000,00	2 400,00
Tanques pulmón	4	5 000,00	20 000,00	2 000,00
Ultraturrax	1	28 700,00	28 700,00	2 870,00
Secador por atomización	1	200 000,00	200 000,00	20 000,00
Embolsadora	1	18 190,00	18 190,00	1 819,00
Selladora	1	4 760,00	4 760,00	476,00
	Total		305 650,00	**30 565,00**

Los costos de equipos y muebles de oficina estarán influenciados directamente por el número de trabajadores que se tenga. Estos costos se detallan en la Tabla AII.2.

Tabla AII. 2. Costo de equipos y muebles de oficina

Denominación	Número de unidades	Valor unitario ($)	Valor total ($)	Dividendo Anual de Amortización ($)
Computadoras	3	550,00	1650,00	165,00
Sillas	14	20,00	280,00	28,00
Escritorios	3	50,00	150,00	15,00
Archivadores	4	50,00	200,00	20,00
Repisas y estanterías	5	25,00	125,00	13,00
Mesa para conferencias	1	135,00	135,00	14,00
Total			**2 540,00**	**254**

En la Tabla AII.3 se detalla el costo de cada construcción de la planta de procesamiento y el dividendo anual de amortización.

Para cuantificar estas inversiones se tomó en cuenta el costo de metro cuadrado de construcción dado que se trata de un estudio de prefactibilidad. Se agruparon los valores en función de ítems de costo (Sapag y Sapag, 2005, p.159).

Tabla AII. 3. Costo detallado de cada construcción

Designación	Área (m^2)	Valor ($/$m^2$)	Valor total ($)	Dividendo anual de Amortización ($)
Construcciones				
Fábrica	72	280,00	20 020,00	1 001,00
Oficinas	19	320,00	6 000,00	300,00
Bodegas	40	200,00	7 900,00	395,00
Baños	8	260,00	2 080,00	104,00
TOTAL	138	**Total construcciones**	**36 000,00**	**1 800,00**
		Total terreno y construcciones	**36 000,00**	**1 800,00**

En la Tabla AII.4 se presentan los valores del activo diferido que comprenden las patentes de invención, diseños, marcas, asistencia técnica, la puesta en marcha y la contratación de servicios (Sapag y Sapag, 2005, p.174).

Tabla AII. 4. Activo diferido o intangible

Rubro	**Costo total ($)**
Planeación e integración (3% de la inversión total)	18 482,00
Ingeniería del proyecto (3,5 % de la inversión en activos de producción)	10 698,00
Supervisión (1,5 %)	9 241,00
Administración del proyecto (0,5 % de la inversión total)	3 080,00
Total	41 502,00

ANEXO III

SUMINISTROS (PLANTA DE PROCESO Y OFICINAS)

En la Tabla AIII.1 se observa el cálculo de la energía mínima requerida por el equipo secador para el volumen de líquido que ingresa en el sistema. Se observó que la energía que se necesita para evaporar el volumen de agua que contiene la emulsión es mayor a la que consta en las especificaciones técnicas del equipo que se observa en Anexo I.

Tabla AIII. 1. Cálculo de la energía mínima requerida por el equipo secador

Detalle	Cantidad	Unidades
Volumen de agua que se quiere evaporar	62,30	kg/h
Calor latente de vaporización del agua a 150 ºC	2114,30	kJ/kg
Energía requerida para la evaporación	131720,89	kJ/h
Tiempo de funcionamiento del equipo	8	H
Potencia	36,60	kW
Energía consumida	292,80	kWh

En la Tabla AIII.2 se detalla la potencia de cada equipo utilizado en la zona de producción y su tiempo de uso diario que se obtuvo del diagrama de Gantt. Estos valores sirvieron para calcular el consumo energético diario en la zona de proceso.

Tabla AIII. 2. Consumo energético de los equipos de la zona de producción

Equipo	Unidades	Tiempo de uso (h)	Potencia (kW)	Energía Consumida (kWh)
Turbotrón	2	4	0,37	2,96
Tanques pulmón	2	3	0,50	3,00
Ultraturrax	1	1	4,60	4,60
Secador por atomización	1	8	36,50	292,00
Embolsadora	1	6	0,20	1,20
Selladora	1	6	0,20	1,20
		Consumo energético diario de máquinas		304,96

El principal gasto por motivo energético se debe en mayor parte a los motores que utilizan los equipos de proceso. En cuanto al gasto de energía eléctrica correspondiente a la parte administrativa y alumbrado público no suele ser muy significativo respecto al importe total de lo que se consume en la planta de proceso. Se consideró un valor del 3 % del costo de energía eléctrica que se consume en el proceso productivo (Baca, 2006, p.170).

En la Tabla AIII.3 se detallan los valores de consumo de energía eléctrica en la zona de producción y en el área administrativa.

Tabla AIII. 3. Energía total consumida en la zona de producción y administración

Detalle	Energía Consumida (Kwh)
Producción	132,96
Administración y alumbrado	4,00
Total de consumo energético diario	136,96

En la Tabla AIII.4 constan los costos diarios, mensuales y anuales correspondientes a consumo de energía eléctrica.

Tabla AIII. 4. Ponderación anual del consumo energético

Detalle	Energía (kWh)	Costo kWh ($)	Costo de la Energía Eléctrica ($)
CONSUMO ENERGÉTICO DIARIO	308,96	0,0897	27,71
CONSUMO ENERGÉTICO MENSUAL	9 268,80	0,0897	831,41
CONSUMO ENERGÉTICO ANUAL	111 225,60	0,0897	9 976,94

En el proceso productivo de obtención del aceite microencapsulado, el único proceso en el que se consideró la utilización de combustible fue en el de secado para el funcionamiento del horno del secador por atomización.

En la Tabla AIII.5 se detalla el costo anual correspondiente al uso de combustible para el proceso de secado. El valor del combustible diario utilizado por el equipo se obtuvo de los datos técnicos del secador detallados en el Anexo I.

Tabla AIII. 5. Ponderación anual de consumo de combustible

Combustible	Cantidad diario (gal)	Requerimiento mensual (kg)	Requerimiento anual (kg)	Costo del gal ($)	Costo anual ($)
Diésel	16,27	260,32	3 123,84	1,02	3 186,32

En la Tabla AIII.6 se observa el valor diario de consumo de agua y costo anual de este rubro. Se consideró tanto el agua que se utiliza en el proceso productivo como el agua empleada para la limpieza de equipos.

Tabla AIII. 6. Ponderación anual de consumo de agua en la zona de producción

Operación	**Cantidad diario (m^3)**	**Requerimiento mensual (kg)**	**Requerimiento anual (kg)**	**Costo del m^3 ($)**	**Costo anual ($)**
Mezclado	2	8	96	0,54	51,61
Limpieza	6	120	1440	0,54	774,14
				TOTAL	**825,75**

ANEXO IV

AMORTIZACIÓN DEL CRÉDITO

En la Tabla AIV.1 se observa la amortización de la deuda adquirida con la institución financiera a una tasa de interés efectiva del 12,5 %, durante un periodo de 10 años.

Tabla AIV. 1. Amortización del crédito otorgado por la institución financiera

Periodo (años)	Saldo insoluto ($)	Interés ($)	Cuota ($)	Capital pagado ($)	Saldo de deuda ($)
1	369 646,00	46 206,00	66 766,00	20 560,00	349 085,00
2	349 085,00	43 636,00	66 766,00	23 130,00	325 955,00
3	325 955,00	40 744,00	66 766,00	26 022,00	299 933,00
4	299 933,00	37 492,00	66 766,00	29 274,00	270 659,00
5	270 659,00	33 832,00	66 766,00	32 934,00	237 725,00
6	237 725,00	29 716,00	66 766,00	37 050,00	200 675,00
7	200 675,00	25 084,00	66 766,00	41 682,00	158 993,00
8	158 993,00	19 874,00	66 766,00	46 892,00	112 101,00
9	112 101,00	14 013,00	66 766,00	52 753,00	59 348,00
10	59 348,00	7 418,00	66 766,00	59 348,00	0,00

ANEXO V

COSTOS DE OPERACIÓN

En la Tabla AV.1 se observa el ponderado anual correspondiente a los costos de materia prima.

Tabla AV. 1. Ponderación anual del costo de la materia prima

Designación de la materia prima	Costo ($/kg)	Materia prima por mes (kg)	Materia prima por año (kg)	Costo por año ($)
Aceite de aguacate	21,32	1 501	18 012	384 006,00
Maltodextrina	1,40	1 201	14 409	20 173,00
Goma	6,66	1 801	21 613	143 946,00
		TOTAL	**54 034**	**548 124,00**

Tabla AV. 2. Ponderación anual del costo de materiales indirectos

Designación del materiales indirectos	Costo ($/kg)	Materia indirectos por mes (kg)	Materiales indirectos por año (kg)	Costo por año ($)
Empaque	200,00	1	12	2 400,00
		TOTAL	**12**	**2 400**

El costo de mano de obra constituye uno de los principales ítems de los costos de operación de un proyecto. Se consideró tanto la mano de obra directa como la mano de obra indirecta relacionada con el proyecto.

La planta de proceso tendrá únicamente un operario encargado del proceso productivo ya que los equipos realizan la mayor parte del trabajo. En cuanto a mano de obra indirecta se consideró un supervisor de producción y un supervisor de calidad para el análisis de la materia prima que entra al proceso

así como para los análisis de parámetros de calidad correspondientes al producto intermedio como al producto terminado.

En la Tabla AV.3 y AV.4 se observan los costos anuales correspondientes a mano de obra directa y mano de obra indirecta. Se consideró el sueldo a pagar, las bonificaciones, las leyes sociales existentes en el país y gratificaciones.

En el Ecuador el empleador tiene la obligación de afiliar a sus trabajadores ante el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social (IESS). La empresa aporta con el 11,50 % y el trabajador con el 9,35 % de su salario (Uribe, 2011, p.102).

Tabla AV. 3. Ponderación anual del costo de mano de obra directa

Operador de Máquina o Proceso	Salario Mensual ($)	Aporte Patronal de 12.15% al IESS ($)	Recargos por turnos nocturnos ($)	Total mensual, ex-bonificaciones ($)	Total anual, ex-bonificaciones ($)	Vacaciones ($)	13avo ($)	14avo ($)	Fondo de Reserva ($)	Gran total anual ($)
Operador de Máquina o Proceso	340,00	41,31	0,00	381,31	4 575,72	190,66	381,31	340,00	381,31	5 869,00
									TOTAL	5 869,00

Tabla AV. 4. Ponderación anual del costo de mano de obra indirecta

Operador de Máquina o Proceso	Salario Mensual ($)	Aporte Patronal de 12.15% al IESS ($)	Recargos por turnos nocturnos ($)	Mensual total, ex-bonificaciones ($)	Anual total, ex-bonificaciones ($)	Vacaciones ($)	13avo ($)	14avo ($)	Fondo de Reserva ($)	Gran total anual ($)
Supervisor de producción	600,00	73,00	0,00	673,00	8 075,00	336,00	673,00	340,00	673,00	10 097,00
Supervisor de calidad	500,00	61,00	0,00	561,00	6 729,00	280,00	561,00	340,00	561,00	8 471,00
									TOTAL	18 568,00

Como se puede observar en las dos tablas anteriores no existen recargos por turnos nocturnos debido a que solo se tiene una jornada de trabajo.

En la Tabla AV.5 se presentan los costos anuales por administración, estos provienen de realizar la función administrativa de la planta e incluyen los sueldos del gerente general, contadores, secretarias, directores, recursos humanos, así como gastos de equipos de oficina (Baca, 2006, p.172). Dado el hecho de que el proyecto se enfoca en la realización de una nueva línea de proceso y no de una planta totalmente nueva se omitieron los sueldos del área gerencial y únicamente se consideraron los sueldos del personal que la planta requeriría contratar.

Tabla AV. 5. Costos anuales de administración

Rubro	Valor ($)	(%)
Sueldos administrativos	6 845,00	92,68
Depreciación de equipos de oficina	254,00	3,44
Gastos de oficina	142,00	1,92
Imprevistos (2%)	145,00	1,96
TOTAL	7 385,00	100,00

ANEXO VI

PUNTO DE EQUILIBRIO

El punto de equilibrio permite analizar la relación que existe entre los costos fijos, costos variables y los beneficios. El punto de equilibrio a su vez permite calcular el valor mínimo de producción que hay que tener para no incurrir en pérdidas (Baca, 2006, p.180). En la Tabla AVI.1 se muestra los valores de los costos variables, los costos fijos y las ventas anuales requeridos para el cálculo del punto de equilibrio.

Tabla AVI. 1. Cálculo del punto de equilibrio

Porcentaje (%)	Unidades Producidas en el año	Costos Fijos ($)	Costos Variables ($)	Costos totales ($)	Ventas ($)
0	0	153 008,00	0,00	153 008,00	0,00
8	3785	153 008,00	47 984,00	200 991,00	69 793,00
17	7571	153 008,00	95 967,00	248 975,00	139 585,00
25	11356	153 008,00	143 951,00	296 959,00	209 378,00
33	15142	153 008,00	191 934,00	344 942,00	279 170,00
42	18927	153 008,00	239 918,00	392 926,00	348 963,00
50	22713	153 008,00	287 902,00	440 909,00	418 755,00
58	26498	153 008,00	335 885,00	488 893,00	488 548,00
67	30284	153 008,00	383 869,00	536 877,00	558 341,00
75	34069	153 008,00	431 852,00	584 860,00	628 133,00
83	37854	153 008,00	479 836,00	632 844,00	697 926,00
92	41640	153 008,00	527 820,00	680 827,00	767 718,00
100	45425	153 008,00	575 803,00	728 811,00	837 511,00
	PUNTO DE EQUILIBRIO		**26 558**	**Unidades**	

ANEXO VII

CÁLCULO DEL FLUJO DE CAJA

En la Tabla AVII.1 se puede observar el flujo de caja del inversionista hasta el año 10. El flujo de caja se estructuró de la siguiente manera: consta el valor total de las inversiones al año cero, antes de la puesta en marcha del proyecto, los ingresos y egresos de operación, el tiempo en que ocurren y el valor de desecho del proyecto (Sapag y Sapag, 2008, p.292).

Para la construcción de este flujo de caja se consideró una producción constante durante los 10 años de evaluación y la inflación en el país del último año que corresponde a 4,15 %.

Se consideró una depreciación de maquinaria y muebles de oficina para 10 años y una depreciación de edificios para 20 años. Para la estimación de dicha depreciación se utilizó el método de línea recta sin valor residual, este método considera que se deprecia todo el activo en igual valor cada año. Cabe recalcar que la depreciación no es un egreso como tal, sino un valor que influye en la rentabilidad del proyecto por sus efectos indirectos sobre los impuestos (Sapag y Sapag, 2008, p.293).

Tabla AVII. 1. Flujo de caja del inversionista

Rubro	Año 0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Ingreso de ventas ($)		837 511	872 268	908 467	946 168	985 434	1026 329	1068 922	1 113 282	1 159 484	1 207 602
Costos de producción ($)		-621 315	-647 100	-673 954	-701 923	-731 053	-761 392	-792 990	-825 899	-860 173	-895 871
Interés préstamo ($)		-46 206	-43 636	-40 744	-37 492	-33 832	-29 716	-25 084	-19 874	-14 013	-7 418
Depreciación ($)		-32 619	-32 619	-32 619	-32 619	-32 619	-32 619	-32 619	-32 619	-32 619	-32 619
Amortización intangible ($)		-8 300	-83 00	-8 300	-8 300	-8 300					
Utilidad antes de impuestos ($)		129 071	140 613	152 849	165 834	179 629	202 603	218 229	234 891	252 679	271 694
Impuesto a la renta 23% ($)		-29 686	-32 341	-35 155	-38 142	-41 315	-46 599	-50 193	-54 025	-58 116	-62 490
Participación de trabajadores 15% ($)		-19 361	-21 092	-22 927	-24 875	-26 944	-30 390	-32 734	-35 234	-37 902	-40 754
Utilidad neta ($)		80 024	87 180	94 766	102 817	111 370	125 614	135 302	145 632	156 661	168 450
Depreciación ($)		32 619	32 619	32 619	32 619	32 619	32 619	32 619	32 619	32 619	32 619
Amortización intangible ($)		8 300	8 300	8 300	8 300	8 300					
Inversión total ($)	-616 076										
Préstamo ($)	369 646										
Capital del crédito ($)		-20 560	-23 130	-26 022	-29 274	-32 934	-37 050	-41 682	-46 892	-52 753	-59 348
Valor de salvamento ($)											796 835
Flujo de caja ($)	-246 431	100 383	104 969	109 664	114 462	119 356	121 182	126 239	131 359	136 526	938 557