

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio de Ciencias e Ingeniería

Diseño de una planta industrial para la elaboración de una infusión acuosa de guayusa, considerando la selección del envase del producto en función del efecto de la luz solar y artificial en la actividad antioxidante de extractos acuosos de *Ilex guayusa* Loes

Martina Isabel Clairand Gómez

Carlos Fabara, M.Sc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniera Química

Quito, abril de 2015

Universidad San Francisco de Quito
Colegio de Ciencias e Ingeniería

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

Diseño de una planta industrial para la elaboración de una infusión acuosa de guayusa, considerando la selección del envase del producto en función del efecto de la luz solar y artificial en la actividad antioxidante de extractos acuosos de *Ilex guayusa* Loes

Martina Isabel Clairand Gómez

Carlos Fabara, MSc.
Director de Tesis
Miembro del Comité de Tesis

Valeria Almeida, MSc.
Miembro del Comité de Tesis

Diego Gangotena, MSc.
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D.
Decana de la Escuela de Ingeniería
Colegio de Ciencias e Ingeniería, El Politécnico

Quito, abril de 2015

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art.144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma: -----

Nombre: Martina Isabel Clairand Gómez

C. I.: 1714736699

Lugar: Quito

Fecha: Abril de 2015

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Carlos Fabara MSc., por su orientación y enseñanzas a lo largo de la carrera y por la ayuda que me ha brindado en la elaboración de este proyecto.

A Valeria Almeida por toda la paciencia y colaboración que invirtió para ayudarme a culminar esta investigación, y durante los últimos años por brindarme sus conocimientos.

A Diego Gangotena por aconsejarme, con su experiencia, en el mejoramiento de este trabajo de titulación.

A Gustavo Muñoz, David Egas y Daniela Almeida por sus innumerables enseñanzas a nivel académico y personal.

A todos mis amigos y compañeros de la Universidad San Francisco de Quito que me han brindado incontables momentos de alegría y de apoyo.

Finalmente, por su inmenso cariño y dedicación, mamá, papá, hermano, gracias por acompañarme en voluntad, felicidad y sabiduría.

RESUMEN

Se diseñó una planta industrial para la elaboración de infusión acuosa de *Ilex guayusa* Loes, teniendo en cuenta un almacenamiento óptimo del producto final. La selección del envase del producto se realizó tras evaluar el efecto de la luz natural (solar) y de la luz artificial (de focos ahorradores) en la actividad antioxidante de extractos acuosos de *Ilex guayusa* Loes. Se determinó la evolución de la capacidad antioxidante durante tres semanas, para muestras expuestas a la luz del sol, a la luz de focos ahorradores y a la oscuridad mediante el ensayo del poder antioxidante reductor férrico (FRAP). El análisis señaló un decrecimiento de la actividad antioxidante para los extractos expuestos a la luz, de modo que se escogió un envase de Polietileno Tereftalato (PET), oscuro, con una etiqueta de cuerpo completo para el almacenamiento de la infusión de guayusa.

ABSTRACT

An industrial plant for preparing aqueous *Ilex guayusa* Loes infusion was designed, considering the optimal storage for the final product. The selection of the product package was made after evaluating the effect of natural light (solar) and artificial light (saving bulbs) in the antioxidant activity of aqueous extracts of *Ilex guayusa* Loes. The evolution of the antioxidant capacity was determined, for three weeks, for samples exposed to the sun light, saving bulbs light and darkness, using ferric reducing antioxidant power (FRAP) essays. Analysis indicated a decrease in antioxidant activity in extracts exposed to light, so that, a dark, polyethylene terephthalate (PET) package, with a full label was chosen for storing guayusa infusion.

Tabla de contenido

1. Introducción	14
1.1 Antecedentes y justificación	14
1.2 Historia.....	15
2. Objetivos	16
2.1 Objetivo general.....	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. Marco teórico	17
3.1 Ilex Guayusa Loes	17
3.2 Actividad antioxidante.....	18
3.3 Espectrofotometría molecular.....	22
3.4 Poder Antioxidante Reductor Férrico (FRAP)	24
4. Métodos experimentales.....	26
4.1 Preparación de las muestras	26
4.1.1 Descripción de las muestras recolectadas.....	26
4.1.2 Elaboración de extractos acuosos de I. Guayusa.....	26
4.2 Exposición de las muestras a la luz	27
4.3 Determinación de la actividad antioxidante.....	28
4.3.1 Materiales y equipos	28
4.3.2 Reactivos	28
4.3.3 Parte experimental	29
5. Diseño de la planta industrial para la elaboración de infusión de guayusa.....	30
5.1 Definición del producto	30
5.2 Formulación	30
5.3 Resultados del efecto de la luz en la actividad antioxidante de las muestras acuosas de Ilex guayusa Loes.....	32
5.3.1 Características de la radiación solar y de la radiación artificial	32
5.3.2 Variación de la actividad antioxidante	34
5.4 Presentación de la infusión de guayusa	47
5.5 Estudio de mercado.....	48

5.5.1	Principales usos	48
5.5.2	Clientes potenciales	49
5.5.3	Características del mercado	57
5.5.4	Posibles competidores	60
5.5.5	Ventajas competitivas del producto.....	63
5.6	Localización de la planta	63
5.7	Proceso de elaboración de la infusión de guayusa.....	65
5.7.1	Diagrama de bloques, de flujo.....	68
5.7.2	Balance de masa	70
5.7.3	Balance de energía	75
5.8	Diseño de la cámara de refrigeración.....	84
5.9	Especificación de los equipos	88
5.10	Requerimientos en energía eléctrica por equipo.....	92
5.11	Diseño de tuberías.....	93
5.12	Requerimientos totales de agua y vapor	94
5.13	Requerimientos de materias complementarias.....	95
5.14	Requerimientos de personal.....	95
5.15	Análisis económico.....	96
6.	Discusión de resultados.....	106
7.	Conclusiones y recomendaciones.....	111
8.	Referencias	114
9.	Anexos.....	119

Índice de tablas

Tabla 5.2.1 Diferentes formulaciones de infusión de guayusa.....	31
Tabla 5.2.2 Posicionamiento de las distintas formulaciones de infusión de mejor a peor sabor	31
Tabla 5.5.2.1.1 Población en 2010 y proyección para 2015 en zonas Centro y Norte de Quito	49
Tabla 5.5.2.3.1 Disposición a comprar la infusión en presentación de 400 mL por edades 53	
Tabla 5.5.2.3.2 Población entre 19 y 35 años en 2010 y proyección para 2015 en zonas Centro y Norte de Quito	54
Tabla 5.5.2.3.3 Frecuencia de consumo de infusiones en personas entre 19 y 35 años	54
Tabla 5.5.2.3.4 Preferencias de precios para infusión de guayusa en presentación de 400mL para personas entre 19 y 35 años	56
Tabla 5.5.4.1 Productores de derivados de Ilex guayusa en Ecuador	61
Tabla 5.5.4.2 Precios de té listos para beber de Fundación Runa.....	62
Tabla 5.7.2.1 Formulación para la elaboración de 988g de infusión.....	70
Tabla 5.7.2.2 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después del lavado ..	70
Tabla 5.7.2.3 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después del escurrido	71
Tabla 5.7.2.4 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después de la filtración	72
Tabla 5.7.2.5 Formulación para la elaboración de 1028 L de infusión	73
Tabla 5.7.2.6 Flujos de entrada y salida por unidad operativa	74
Tabla 5.7.2.7 Descripción de los flujos	75
Tabla 5.7.3.1 Especificaciones del tanque encaquetado.....	77
Tabla 5.7.3.2 Parámetros de intercambio para el calentamiento del agua de infusión.....	77
Tabla 5.7.3.3 Cálculo de la energía requerida para el calentamiento del agua	77
Tabla 5.7.3.4 Cálculo del tiempo de calentamiento del agua del tanque	78
Tabla 5.7.3.5 Parámetros de intercambio para la pasteurización de la infusión.....	81
Tabla 5.7.3.6 Cálculo del área de transferencia de calor para la pasteurización de la infusión	81
Tabla 5.7.3.7 Dimensiones aproximadas del intercambiador de doble tubo	84
Tabla 5.8.1 Dimensiones aproximadas de una botella de 400mL	84
Tabla 5.8.2 Especificaciones de las cajas y posicionamiento de botellas	84
Tabla 5.8.3 Dimensiones de la cámara de refrigeración.....	86
Tabla 5.8.4 Parámetros de diseño	86
Tabla 5.8.5 Cálculo de pérdidas de calor.....	88
Tabla 5.9.1 Equipos para la elaboración de la infusión.....	89
Tabla 5.9.2 Equipos de calentamiento y enfriamiento	90
Tabla 5.9.3 Bombas	91
Tabla 5.10.1 Requerimientos de energía eléctrica.....	93
Tabla 5.12.1 Cálculo de requerimientos de vapor	94
Tabla 5.12.2 Requerimientos de agua	95

Tabla 5.13.1 Materias complementarias.....	95
Tabla 5.14.1 Requerimiento de personal por unidad operativa.....	96
Tabla 5.15.1 Inversión fija.....	97
Tabla 5.15.2 Resumen inversión fija.....	98
Tabla 5.15.3 Costos de producción	98
Tabla 5.15.4 Resumen costos de producción	100
Tabla 5.15.5 Costos y gastos	101
Tabla 5.15.6 Resumen de costos y gastos	101
Tabla 5.15.7 Ventas netas.....	102
Tabla 5.15.8 Capital de operación	102
Tabla 5.15.9 Inversiones.....	102
Tabla 5.15.10 Estado de ganancias y pérdidas	103
Tabla 5.15.11 Resumen costos fijos y variables.....	103
Tabla 5.15.12 Cálculo del flujo de caja	104
Tabla 6.1 Disminución de la actividad antioxidante para las muestras expuestas a la luz solar	107
Tabla 6.2 Disminución de la actividad antioxidante para las muestras expuestas a la luz artificial.....	107
Tabla 6.3 Variación de la actividad antioxidante para las muestras sometidas a la oscuridad.....	109
Tabla 9.1 Ubicación de las muestras recolectadas	119
Tabla 9.2 Índices CEPSI.....	129
Tabla 9.3 Exponentes de escalamiento de los equipos.....	129
Tabla 9.4 Cálculo del precio de los equipos	129
Tabla 9.5 Descripción de tuberías de agua	130
Tabla 9.6 Descripción de tramos y bombas para tuberías de agua.....	130
Tabla 9.7 Descripción tuberías de vapor	131
Tabla 9.8 Descripción de tramos para tuberías de vapor.....	131
Tabla 9.9 Descripción tuberías de la línea de elaboración de infusión	132
Tabla 9.10 Descripción de tramos de la línea de elaboración de infusión	132

Índice de figuras

Figura 3.2.1 Mecanismo de sustitución radicalaria	19
Figura 3.2.2 Producción de especies reactivas de oxígeno.....	20
Figura 3.2.3 Acción de los antioxidantes sobre los radicales libres	21
Figura 3.3.1 Componentes de un espectrofotómetro	23
Figura 5.5.2.1.1 Distribución zonal del distrito metropolitano de Quito.....	50
Figura 5.5.2.3.1 Distribución de los encuestados por género.....	51
Figura 5.5.2.3.2 Distribución de los encuestados por edad	52
Figura 5.5.2.3.3 Disposición a la compra de infusión de guayusa en presentación de 400 mL	52
Figura 5.5.2.3.4 Frecuencia de consumo de infusiones en personas entre 19 y 35 años.....	55
Figura 5.5.3.1 Preferencias de consumo en bebidas no alcohólicas.....	57
Figura 5.5.3.2 Factores a tomar en cuenta al adquirir un producto	58
Figura 5.5.3.3 Lugar de compra de infusiones	59
Figura 5.7.1.1 Diagrama de bloques.....	68
Figura 5.7.1.2 Diagrama de flujo.....	69
Figura 5.7.3.1 Sistema de intercambio de calor	80
Figura 5.7.3.2 Variación de temperatura de fluidos en un intercambiador de calor	80
Figura 5.7.3.3 Intercambiador de calor de doble tubo.....	83
Figura 5.8.1 Vista lateral de la cámara de refrigeración.....	85
Figura 5.8.2 Vista lateral de la cámara de refrigeración.....	85

Índice de gráficas

Gráfica 5.3.1 Irradiancia solar diaria durante el mes de Octubre de 2014	32
Gráfica 5.3.2 Mediana diaria de la Irradiancia solar del mes de Octubre de 2014.....	33
Gráfica 5.3.3 Espectro de la luz emitida por un foco ahorrador.....	34
Gráfica 5.3.2.1 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SECP2	35
Gráfica 5.3.2.2 Variación de la actividad antioxidante para la muestra WAYCHIRPAS2 .	35
Gráfica 5.3.2.3 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SMA1	36
Gráfica 5.3.2.4 Variación de la actividad antioxidante para la muestra KAPAPAS2.....	37
Gráfica 5.3.2.5 Variación de la actividad antioxidante para la muestra VALL6	37
Gráfica 5.3.2.6 Variación de la actividad antioxidante para la muestra ATCP01.....	38
Gráfica 5.3.2.7 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SJP1	39
Gráfica 5.3.2.8 Variación de la actividad antioxidante para la muestra PON2	39
Gráfica 5.3.2.9 Variación de la actividad antioxidante para la muestra RYCP2	40
Gráfica 5.3.2.10 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SRA1	41
Gráfica 5.3.2.11 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SECP2 sometida a la oscuridad.....	42
Gráfica 5.3.2.12 Variación de la actividad antioxidante para la muestra WAYCHIRPAS2 sometida a la oscuridad.....	42
Gráfica 5.3.2.13 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SMA1 sometida a la oscuridad.....	43
Gráfica 5.3.2.14 Variación de la actividad antioxidante para la muestra KAPAPAS2 sometida a la oscuridad	43
Gráfica 5.3.2.15 Variación de la actividad antioxidante para la muestra VALL6 sometida a la oscuridad.....	44
Gráfica 5.3.2.16 Variación de la actividad antioxidante para la muestra ATCP01 sometida a la oscuridad.....	44
Gráfica 5.3.2.17 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SJP1 sometida a la oscuridad.....	45
Gráfica 5.3.2.18 Variación de la actividad antioxidante para la muestra PON2 sometida a la oscuridad.....	45
Gráfica 5.3.2.19 Variación de la actividad antioxidante para la muestra RYCP2 sometida a la oscuridad.....	46
Gráfica 5.3.2.20 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SRA1 sometida a la oscuridad.....	46
Gráfica 5.7.2.1 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después del lavado	71
Gráfica 5.7.2.2 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después del escurrido	72
Gráfica 5.7.2.3 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después de la filtración	73
Gráfica 5.15.1 Punto de equilibrio.....	105

1. Introducción

1. 1 Antecedentes y justificación

La Amazonía ecuatoriana posee una amplia variedad de flora, de la cual se puede obtener numerosos beneficios para mejorar la calidad de vida de los seres humanos. Entre los aportes de las especies vegetales nativas de la selva ecuatoriana se destacan aspectos químicos, medicinales, alimenticios así como culturales (Infusionistas, 2011).

Se ha conocido regionalmente a la hoja de *Ilex guayusa* por muchos años por motivos culturales; sin embargo es solo hace apenas poco tiempo que se ha puesto mayor énfasis en el estudio de sus propiedades químicas y medicinales, que pueden ser difundidas a escala nacional y mundial. Las características antioxidantes de la variedad *Ilex guayusa* Loes le han dado reconocimiento a nivel nacional e internacional, promoviendo una profundización en el estudio de sus propiedades fitoquímicas y su interacción con el ambiente, para potenciar o conservar sus beneficios (Weissmann, 2014). Se estima que “*I. guayusa* muestra una capacidad antioxidante relativamente alta”, así como un contenido en cafeína elevado, en comparación con otras plantas con niveles importantes de actividad antioxidante y contenido en cafeína (Melo, 2014). Adicionalmente se han multiplicado las iniciativas para difundir las propiedades medicinales de la hoja de guayusa, haciéndolas cada vez más accesibles a los mercados nacionales y extranjeros (Schultes, 1972). Debido a que el estudio de la interacción de las hojas de guayusa con su ambiente es limitado en la literatura científica, es preciso consagrar una investigación a la afectación de la hoja por factores climáticos. Una vez resueltos estos parámetros, es posible desarrollar mejores prácticas de manufactura y conservación de los productos derivados de la hoja de *Ilex guayusa* Loes.

En este proyecto, se pretende diseñar una planta industrial para la manufactura de infusión acuosa de guayusa tomando en cuenta las consideraciones en cada etapa, para preservar de la mejor manera posible los compuestos benéficos de la hoja de guayusa. Entre estos componentes se encuentra la actividad antioxidante; por lo tanto, la presente investigación busca, de igual modo, esclarecer el efecto de la luz natural (solar) y de la luz artificial en la actividad antioxidante de extracto de *Ilex guayusa* Loes en medio acuoso, para seleccionar un envase que garantice la menor afectación de la luz al producto final.

1.2 Historia

Se desconoce con exactitud, la fecha exacta del descubrimiento de la hoja de guayusa, sin embargo reseñas históricas como la carta escrita el “23 de Agosto de 1683 por el jesuita pastuso Juan Lorenzo Lucero” describe “las intervenciones de piaches o brujos, que para ejercer su oficio bebían algunas yerbas (...) malignas con la guañusa y tabaco (...), de forma, que el poco zumo que queda viene a ser la quinta esencia de la malicia” (Patiño, 1967). En la carta de Lucero se afirma que los indígenas “para conservarse ligeros, usan beber muchas veces entre día del conocimiento de una yerba llamada Guayusa, que se parece al laurel” manteniéndose “despiertos, sin desfallecer, muchas noches seguidas” (Patiño, 1967).

No obstante, no es hasta 1901 que Ludwig Eduard Theodor Loesener describe la planta de *Ilex guayusa* y publica sus hallazgos.

En la actualidad las comunidades indígenas conservan muchos de sus legados ancestrales en cuanto a la elaboración de la infusión de guayusa. Fabrican una infusión a partir de las hojas de *Ilex guayusa* con el objetivo de sanar o prevenir dolencias estomacales, de cabeza, como diurético, contra reumatismo, como desintoxicante natural o como bebida ceremonial,

energizante y estimulante. Según la cultura, se presentan distintos modos de uso de la planta dentro del territorio del Ecuador. Los quechuas por ejemplo, preparan el té de guayusa como señal de bienvenida y hospitalidad. Mientras tanto, los shuar beben guayusa de manera cotidiana al amanecer, para fortalecerse al efectuar sus actividades y como “ritual al alba”. Las hojas se colocan en una olla y se consume la infusión mientras se cuentan “sueños e historias” relacionadas con las vivencias y costumbres comunitarias. (Infusionistas, 2011)

En el Ecuador la guayusa se consume ampliamente en la Amazonía y en algunos sectores de la sierra, mayormente por indígenas y mestizos (Fundación Chankuap, 2013).

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

El objetivo general de este proyecto, consiste en diseñar una planta industrial para la elaboración de infusión acuosa de guayusa; definiendo el tipo de envase óptimo para el producto terminado tras evaluar el efecto de la luz natural (solar), y de la luz artificial (focos ahorradores) en la capacidad antioxidante de extractos acuosos de *Ilex guayusa* Loes.

2.2 Objetivos específicos

Específicamente, este proyecto busca:

- Diseñar el proceso productivo para la elaboración de infusión acuosa de guayusa

- Determinar la evolución de la capacidad antioxidante de cada extracto acuosos, por el modelo in vitro (Poder Antioxidante Reductor Férrico, FRAP), tras ser sometidos diariamente a la luz natural, luz artificial y oscuridad.
- Establecer las características del envase para la menor afectación de la actividad antioxidante, en el producto finalizado.
- Determinar la factibilidad del proyecto

3. Marco teórico

3.1 Ilex Guayusa Loes

Ilex guayusa Loes pertenece a la familia *Aquifoliaceae*, es un árbol silvestre, nativo de la región amazónica. También se lo puede ubicar cultivado en regiones subtropicales andinas. Se estima que puede llegar a crecer hasta 10 metros, presentando un follaje denso (García Barriga, 1992). Además se reconoce esta especie ya que “el tronco tiene un fuste a menudo bifurcado a la altura del pecho, corteza blanca y textura lisa. Las ramas son extendidas y flexibles. Las hojas son coriáceas, verde-oliváceas, enteras, oblongo-elípticas, simples, alternas, coriáceas, dentadas”. Se estima que la guayusa está lejanamente emparentada con la yerba mate, *Ilex paraguayensis*, y con el yaupon, *Ilex vomitoria*. (Schultes, R.E, 1972; García Barriga, 1992)

Las regiones con mayor concentración de esta variedad de guayusa se encuentra en estado silvestre en las provincias de Amazonas, Cauca, Nariño y Risaralda en Colombia; Morona-Santiago, Napo, Pastaza, Pichincha y Zamora-Chinchipe en Ecuador; y en Cajamarca,

Loreto y Pasco en Perú (USDA, 2014). No obstante, no se ha realizado cultivos de la planta en la totalidad de las regiones anteriormente mencionadas. En el Ecuador se consume la guayusa mayormente en forma de infusiones acuosas. Esta bebida se destaca por poseer un sabor suave y un aroma agradable.

Los usos medicinales que se conocen hasta la actualidad para la hoja de *Ilex guayusa* Loes incluyen son “estimulante, narcótico, hipnótico, tónico, diaforético, diurético y en el tratamiento de dolores de cabeza, afecciones catarrales y estados gripales” (Lewis W. y col., 1991; Lee R. y col, 2006).

Se estima que las hojas de guayusa poseen mayores cantidades de cafeína que el té o el café. Así mismo, se determinó que contiene “teobromina y cantidades menores de teofilina y otras xantinas, esteroides, terpenoides y lactonas terpénicas” (Bernal H. y col, 1990; Gupta M., 1995; Pinzón R. y col., 2003). Recientes estudios también han demostrado que *Ilex guayusa* contiene alcaloides, flavonoides, fenoles-taninos y saponinas (Arias & Gualli, 2013).

El alto contenido de cafeína de las hojas provoca estimulación cardíaca y muscular, la cual aumenta el estado de vigilia y mejora la capacidad física momentánea del individuo. Contrariamente al café, la guayusa no genera una sensación de recaída al finalizar los efectos de la cafeína (Infusionistas, 2011).

3.2 Actividad antioxidante

Los compuestos antioxidantes presentes en los alimentos o en las plantas se desempeñan como agentes protectores de la salud. Estudios científicos han demostrado, que los antioxidantes reducen el riesgo de enfermedades crónicas como el cáncer y enfermedades

cardíacas (Alomar, 2011). Una gran proporción de antioxidantes provienen de fuentes vegetales como es el caso de *Ilex guayusa* Loes.

La oxidación consiste en la transferencia de electrones de una sustancia hacia un agente oxidante. Esta reacción puede generar radicales libres que desencadenan reacciones en cadena (Prakash, Rigelhof, & Miller, 2002). Específicamente, un radical libre puede ser descrito como una molécula, átomo o ion, con al menos un electrón desapareado que lo vuelve altamente inestable y por ende con gran capacidad reactiva. En la figura 3.2.1 se puede observar el mecanismo reactivo de los radicales libres caracterizada por las etapas de iniciación (2 o 3), seguida por la propagación (4, 5) y terminación (6,7). (Wade, 2004)

Un antioxidante se caracteriza por su capacidad de atrapar radicales libres (Alomar, 2011).

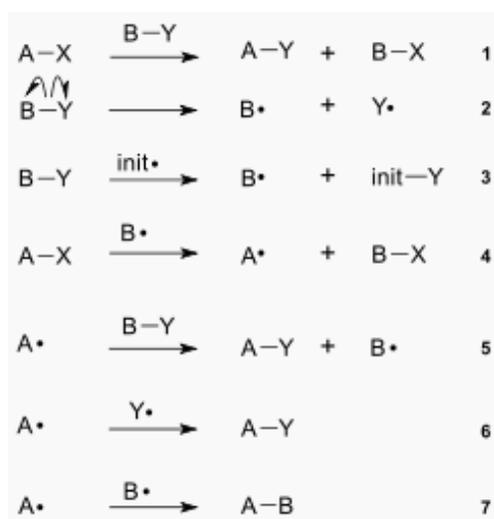


Figura 3.2.1 Mecanismo de sustitución radicalaria

(Rojano, Gaviria, & Sáez, 2008)

En los sistemas biológicos se puede encontrar una amplia gama de fuentes de radicales libres altamente reactivos, así como especies con oxígeno. Estos radicales libres en muchas ocasiones

tienden a oxidar ácidos nucleicos, proteínas, lípidos o ADN dando inicio a enfermedades degenerativas (Prakash, Rigelhof, & Miller, 2002). Por su parte, los compuestos antioxidantes como ácidos fenólicos, polifenoles y flavonoides atrapan los radicales libres como el peróxido, el hidroperóxido peroxilo o lípidos y de esta forma contrarrestan los mecanismos oxidativos que conllevan a enfermedades degenerativas (Prakash, Rigelhof, & Miller, 2002). En otras palabras, un antioxidante actúa como donador de electrones (agente reductor), previniendo la oxidación de un sustrato oxidable y evitando así enfermedades degenerativas causadas por el ataque de los radicales libres a las células (Alomar, 2011).

En particular, existen especies de oxígeno altamente reactivas como peróxidos o iones de oxígeno altamente dañinas que se denominan ROS y que son producidas normalmente por metabolismos aeróbicos. Estos radicales libres son removidos o inactivados por los antioxidantes. De esta manera, el daño en los tejidos inducido por el estrés oxidativo se reduce al mínimo. (Benzie & Strain, 1996)

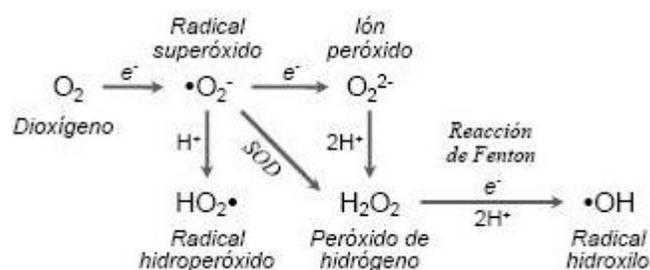


Figura 3.2.2 Producción de especies reactivas de oxígeno

(Imlay, 2008) (Peralta & Volke, 2012)

Los antioxidantes se pueden clasificar en dos categorías:

- Antioxidantes preventivos: Son aquellos que actúan al inicio de una cadena de oxidación como “reductores de peróxidos orgánicos e inorgánicos”.

- Antioxidantes secundarios: Son aquellos que intervienen capturando radicales libres una vez que el proceso oxidativo en cadena ya ha sido iniciado.

(Alomar, 2011)

La interrupción de la propagación de los radicales libres por parte de los antioxidantes es posible a través de uno o varios de los siguientes mecanismos:

- Limpiar especies que inician la peroxidación.
- Quelar iones metálicos hasta que no sean capaces de generar especies reactivas o descomponer los peróxidos lipídicos.
- Romper la reacción en cadena antioxidante.
- Reducción de las concentraciones de O_2 localizadas.

(Brewer, 2011)

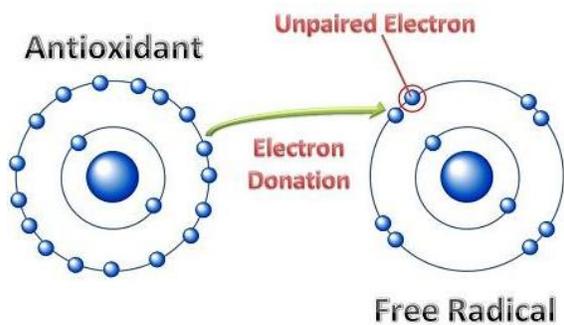


Figura 3.2.3 Acción de los antioxidantes sobre los radicales libres

(Turmeric for Health, 2015)

3.3 Espectrofotometría molecular

La espectrofotometría es una técnica basada en la medición del grado de absorción de luz por una sustancia, manteniendo un rango de longitud de onda definido. Por medio de la medición de la absorbancia a distintas longitudes de onda, se puede caracterizar una sustancia. Esta técnica permite efectuar pruebas de identificación de compuestos, pruebas de pureza, entre otras. La espectrofotometría más comúnmente usada es aquella que se realiza en la región UV y en la región visible del espectro. La región visible se ubica entre 400 y 700 nm y se emplea generalmente para análisis colorimétricos, mientras tanto, la región UV en espectrofotometría se ubica entre los 80 y los 400 nm. (Hardesty & Attili, 2010)

Cuando una luz monocromática de intensidad I_0 incide y atraviesa una sustancia en una solución, una proporción de la intensidad de la luz I es transmitida. La proporción de luz transmitida se denomina transmitancia T y el logaritmo de su inverso se denomina absorbancia A . Ambos parámetros se expresan por las siguientes relaciones:

$$T = \frac{I}{I_0} \quad (3.3.1)$$

$$A = -\log(T) = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \quad (3.3.2)$$

La absorbancia describe la cantidad de luz absorbida por la muestra. (Hardesty & Attili, 2010)

Se puede describir la relación entre la absorbancia para una luz monocromática con la concentración de la solución mediante la ley de Beer-Lambert que expresa la proporcionalidad de estos factores:

$$A = abc \quad (3.3.3)$$

En dónde C es la concentración de la solución, a la distancia recorrida por la luz en la solución y b es la absorptividad de la sustancia. (Harris.D, 2006).

El instrumento empleado para la medición de la absorbancia se denomina espectrofotómetro. Este equipo está constituido de los siguientes componentes:

- Una fuente de energía radiante, generalmente una lámpara de deuterio para la región UV y de tungsteno para la región visible.
- Un monocromador para delimitar las radiaciones a una longitud de onda específica. Para este propósito se pueden emplear “filtros, prismas o redes de difracción”.
- Un compartimento para colocar el recipiente que va a contener la muestra.
- Un fotomultiplicador
- Un amplificador convertidor de las señales para transformar las señales luminosas en eléctricas.
- Un sistema de visualización o recolección de datos.

(Harris.D, 2006)

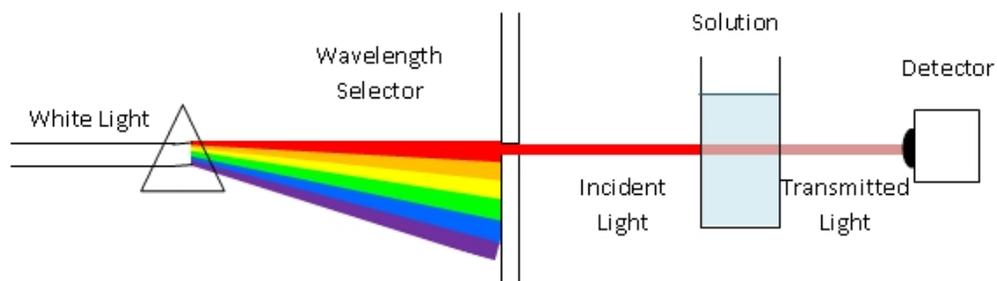


Figura 3.3.1 Componentes de un espectrofotómetro

(University of Queensland Diamantina Institute, 2015)

3.4 Poder Antioxidante Reductor Férrico (FRAP)

Las siglas FRAP provienen de las siglas en inglés ferric reducing antioxidant/ability power. La reducción del ion férrico Fe^{3+} al ion ferroso Fe^{2+} a pH bajo, da lugar a la coloración del complejo tripyridyltriazina-ferroso formado. Los valores FRAP se obtienen mediante la comparación del cambio de absorbancias a 593 nm en mezclas reactivas que contienen una concentración conocida de Fe^{2+} (Benzie & Strain, 1996).

A pH bajo, cuando el complejo tripyridyltriazina-férrico ($Fe^{3+} - TPTZ$) se reduce a su forma ferrosa ($Fe^{2+} - TPTZ$), se desarrolla un color azul intenso con una absorción máxima a 593 nm. Debido a que los antioxidantes presentes en una muestra reducen el complejo ($Fe^{3+} - TPTZ$), a ($Fe^{2+} - TPTZ$) se desarrolla un color azul que indica su presencia. En el ensayo FRAP se emplea un exceso de Fe^{3+} y la formación del complejo ($Fe^{2+} - TPTZ$) es el factor limitante de velocidad y la capacidad reductora de la muestra. (Benzie & Strain, 1996)

Se establece que la absorbancia a 593 nm varía en función del tiempo, y al cabo de 4 minutos se puede relacionar el valor FRAP con el de la absorbancia mediante una relación lineal. Mediante la determinación de la absorbancia de un estándar de ácido ascórbico de concentración conocida, se puede transformar el cambio de la absorbancia de la muestra a unidades de concentración en $\mu mol/L$. La literatura establece que esta técnica posee un límite de detección de alrededor $2 \mu mol/L$ (alta precisión). Los ensayos FRAP no son costosos, los reactivos son de sencilla preparación, los resultados son altamente reproducibles, el proceso general es sencillo y rápido. (Benzie & Strain, 1996)

El valor FRAP de $1000\mu\text{mol}/L$ se puede determinar conociendo la diferencia de absorbancia entre 0 y 4 minutos en una solución de concentración de $1000\mu\text{mol}/L$ de ion ferroso Fe^{2+} . La oxidación del estándar de ácido ascórbico libera 2 electrones, lo que equivale a la reducción de dos moles de ion férrico Fe^{3+} por cada mol de ácido ascórbico. Por ende, el valor FRAP calculado a partir del ácido ascórbico es el doble que aquel calculado a partir del ion ferroso. Se fija de esta forma el valor FRAP del estándar de ácido ascórbico a 2. Se puede calcular el valor FRAP de la muestra a través de la siguiente relación:

$$\frac{(0 - 4\text{min}) \Delta A_{593\text{nm}} \text{ muestra}}{(0 - 4\text{min}) \Delta A_{593\text{nm}} \text{ estándar}} \times \text{valor FRAP estándar} \left(\frac{1000\mu\text{mol}}{L} \right) \quad (3.4.1)$$

En dónde $t(0 - 4\text{min})$ es el tiempo en minutos, $\Delta A_{593\text{nm}} \text{ muestra}$ es la absorbancia de la muestra a 593nm.

(Melo, 2014)

4. Métodos experimentales

4.1 Preparación de las muestras

4.1.1 Descripción de las muestras recolectadas

Las muestras que se emplearon para este estudio fueron aquellas recolectadas en 2013 por (Melo. V, 2014). Estas muestras provienen de diferentes comunidades indígenas y urbanas de la región amazónica ecuatoriana como se presenta en el anexo 1. Las hojas de *Ilex guayusa* Loes seleccionadas procedían de árboles y arbustos que tenían mayor frecuencia de uso en la comercialización y elaboración de té dentro de aquellos grupos humanos. El proceso efectuado por Melo. V, coordinado por la fundación Runa, describe la recolección, en dónde se inició con el corte de las “ramas con hojas jóvenes” y su “almacenamiento en bolsas plásticas Ziploc®” (Melo, 2014). Antes de su almacenamiento en bolsas, las hojas fueron secadas con papel desechable y se intentó reducir al máximo la cantidad de aire presente dentro de las fundas plásticas. A continuación, las hojas se guardaron en un frigorífico portátil a una temperatura de 4 °C. Por otro lado, con ayuda de un GPS se tomó los datos referentes a la ubicación geográfica, y se fijó un código específico para cada árbol de *Ilex guayusa*. (Melo, 2014)

4.1.2 Elaboración de extractos acuosos de I. Guayusa

El proceso de elaboración de los extractos acuosos de *Ilex guayusa* Loes al que fueron sometidas las hojas fue realizado y descrito por Melo.V, 2014. El procedimiento consta de las siguientes etapas:

- Se coloca 10 g de muestra de hoja sin tallo en 150 mL de agua destilada en una licuadora Fisher Scientific (modelo:700G).
- Se licua las hojas a 22000 rpm durante 30 segundos.
- Se transfiere el contenido de la licuadora a un vaso de precipitación de 200 mL y se calienta la mezcla hasta que el extracto alcance la ebullición.
- Se filtra la mezcla con la ayuda de un tamiz con una rejilla de apertura 1mm.
- La muestra acuosa obtenida se almacena a -20 °C en un envase de polipropileno esterilizado.

4.2 Exposición de las muestras a la luz

Se efectuó el siguiente procedimiento para someter las muestras a la radiación solar y a la radiación artificial con focos ahorradores:

- 7 mL de diferentes muestras fueron colocados en distintos tubos de ensayo.
- Se llena un primer lote de 10 tubos de ensayo con las muestras de distintas procedencias que se codificaron con nombres diferentes.
- Se llena un segundo lote de 10 tubos de ensayo con las mismas muestras y se codifica los tubos del mismo modo.
- El primer lote de muestras se coloca en una caja que se ubica directamente al sol.
- El segundo lote de muestras se coloca en una caja que se expone directamente a la luz de focos ahorradores (Sylvania F32W T86500K HALO).
- Se mide la radiación emitida diariamente por la luz solar y por los focos ahorradores.

- Se expone las muestras a la luz en un promedio de 8 horas diarias, de 7h00 a 14h00 y de 16h00 a 17h00 durante tres semanas.
- Se mide la actividad antioxidante de cada extracto diariamente.

4.3 Determinación de la actividad antioxidante

4.3.1 Materiales y equipos

Se emplearon los siguientes equipos para la medición de la actividad antioxidante de los extractos:

- Espectrofotómetro UV Milton Roy, modelo: Spectronic 20D.
- Micropipetas BOECO de 5 mL y 100 μ L.
- Mezclador vortex Fischer Scientific (Número de Catálogo: 02-215-360).
- Rejillas y Viales del espectrofotómetro.
- Balanza OHAUS, modelo: EX124/AD.
- Baño de agua Thomas Scientific.

4.3.2 Reactivos

Se utilizaron los siguientes reactivos para la determinación de la actividad antioxidante:

- Solución tampón de acetato de sodio 0.3 M (Reactivos H.V.O.) a un pH de 3.6, preparada disolviendo 3.1 gr de acetato de sodio trihidratado en 16 mL de ácido

acético glacial (Merck KGaA, Lote: K42796763 139) y aforando el balón a 1 litro con agua destilada.

- Solución 0.01 M de 2,4,6 tripiridil-S-triazina (TPTZ) (Sigma-Aldrich, BCBH5087V) en 0.04 M de ácido clorhídrico (Merck KGaA, Lote: K40039517 912);
- Solución 0.02M de cloruro de hierro con cloruro de hierro hexahidratado (Mallinckrodt, Lote: 5029 V29585) y agua destilada.
- Reactivo FRAP, preparado mezclando la solución tampón de acetato de sodio, la solución de TPTZ y la solución de cloruro de hierro en proporciones 10:1:1.
- Solución 1000 μ M de ácido ascórbico (Reactivos H.V.O.) como estándar.

4.3.3 Parte experimental

Primeramente, se descongela los extractos y se lleva a cabo el procedimiento descrito por Benzie, 1999.

Se toma alícuotas de 50 μ L de cada extracto y se coloca en los viales junto con 5 mL de agua destilada y 3 mL del reactivo FRAP. Posteriormente se agita cada extracto con el mezclador vortex y se mide la absorbancia con la ayuda del espectrofotómetro. A continuación se coloca las muestras a baño de agua que fue previamente calentado a 37°C. Después de 4 minutos, se retira las muestras del agua y se mide la absorbancia de cada una. Se realiza este proceso por triplicado para cada extracto. Con los datos recolectados, se efectúa los cálculos pertinentes para convertir la absorbancia a valores FRAP mediante la ecuación (3.4.1).

5. Diseño de la planta industrial para la elaboración de infusión de guayusa

5.1 Definición del producto

Se pretende elaborar una infusión de *Ilex guayusa* Loes. La norma técnica ecuatoriana INEN-ISO 3103 establece que una infusión es una “solución preparada por extracción de las sustancias solubles de las hojas de té” (...) “por medio de la adición de agua recién hervida” (Instituto ecuatoriano de normalización, 2014). Específicamente, la infusión de guayusa también cumple con la definición de té de hierbas establecida en la norma INEN 2392:2007; la cual establece que “con el nombre genérico de té de hierbas se conoce al procedente de especies vegetales procesadas con las que se preparan infusiones diferentes al té de las teáceas” (Instituto nacional de normalización, 2007).

5.2 Formulación

Para la elaboración de la infusión de guayusa se realizó 4 ensayos, como se presenta en la tabla 5.2.1, para determinar la dosificación de ingredientes que proporciona el mejor sabor al producto. Los ingredientes empleados en la elaboración de la infusión son el agua, hojas enteras y frescas de *Ilex Guyausa* Loes, azúcar. Adicionalmente, se agrega ácido ascórbico ya que varios estudios sugieren que actúa como preservante y al reducir el pH en las bebidas se le otorgan funciones de estabilizante (Bazinet, Araya-Farias, Doyen, Trudel, & Têtu, 2010). Se pretende adicionar la dosis diaria recomendada de ácido ascórbico para mujeres mayores de 18 años que es de 75mg/L (Office of Dietary Supplements, 2013).

En la tabla a continuación se presenta los ensayos efectuados:

Tabla 5.2.1 Diferentes formulaciones de infusión de guayusa

	A	B	C	D
Agua (g)	950	950	950	950
Guayusa (g)	15	20	25	30
Azúcar (g)	43,4	43,7	43,9	44,1
Ácido ascórbico (g)	0,076	0,076	0,076	0,077

Se escogieron a 30 personas aleatoriamente para evaluar cada formulación y se pudieron establecer las siguientes preferencias:

Tabla 5.2.2 Posicionamiento de las distintas formulaciones de infusión de mejor a peor sabor

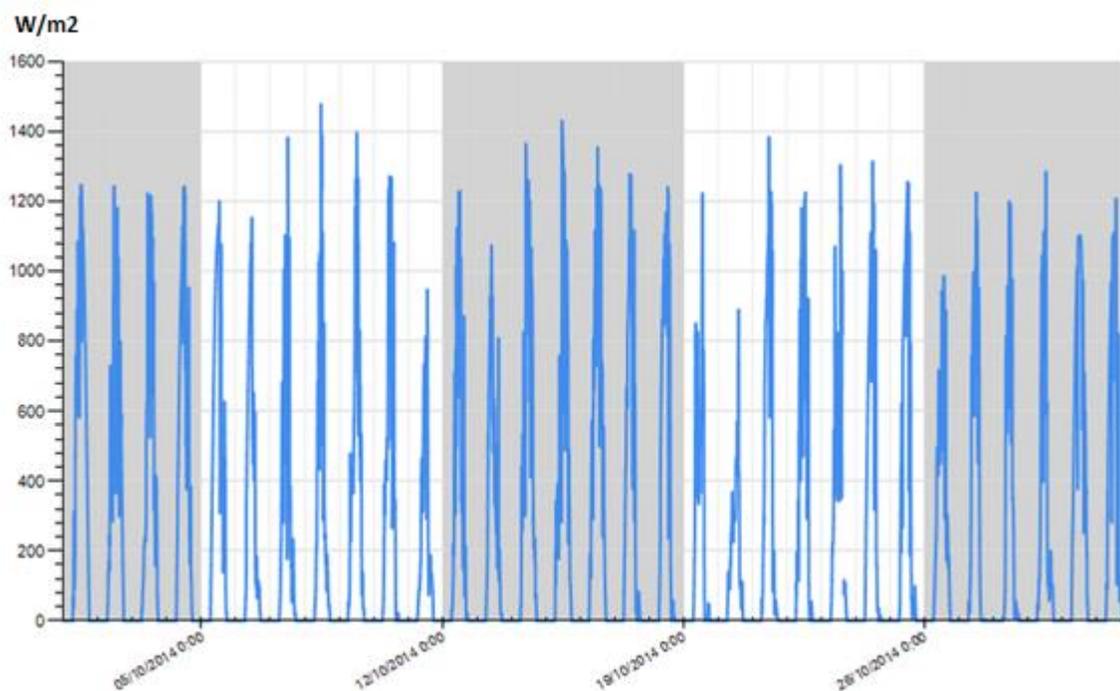
	1 ero	2 ndo	3 ero	4 to
A	15	5	2	8
B	5	14	9	2
C	5	6	10	9
D	4	5	9	12

A partir de estos resultados se puede concluir que la formulación más aceptada (elegida por 15 personas como la mejor) y por ende aquella que se aplicará para la elaboración industrial de la infusión de guayusa es la del ensayo A.

5.3 Resultados del efecto de la luz en la actividad antioxidante de las muestras acuosas de *Ilex guayusa* Loes

5.3.1 Características de la radiación solar y de la radiación artificial

Para la luz natural proveniente de los rayos del sol, durante el mes de octubre de 2014, se obtiene la intensidad de la radiación descrita por la siguiente figura:



Gráfica 5.3.1 Irradiancia solar diaria durante el mes de Octubre de 2014

(Secretaría del Ambiente, 2015)

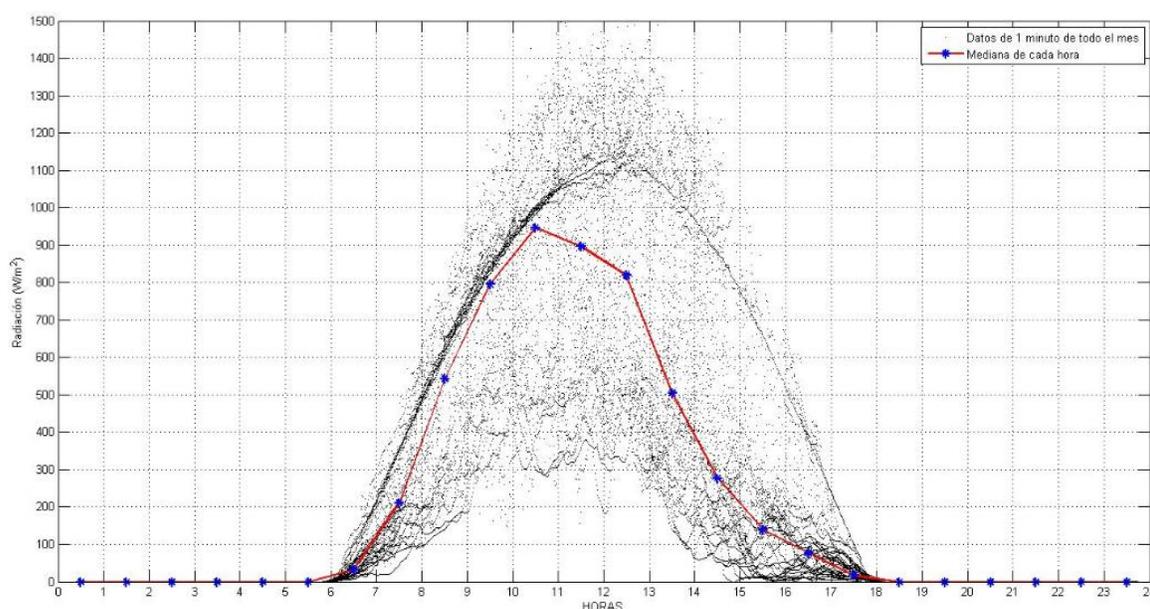
La intensidad descrita en esta figura, se expresa en $Watts/m^2$, y fue medida en la estación de Tumbaco ubicada en las siguientes coordenadas:

- Latitud $0^{\circ}14' 0''$
- Longitud $78^{\circ}25' 50''$
- Altitud 2348 m sobre el nivel del mar

(Secretaría del Ambiente, 2015)

La radiación media diaria del mes de Octubre fue de $467,42 \text{ W/m}^2$, desde las 7 am hasta las 18 pm. La variación global de la radiación entre los días considerados del mes de Octubre fue de 22% con relación al promedio.

Así mismo, la mediana de irradiancia solar para el mes de Octubre 2014 se describe en la gráfica a continuación:



Gráfica 5.3.2 Mediana diaria de la Irradiancia solar del mes de Octubre de 2014

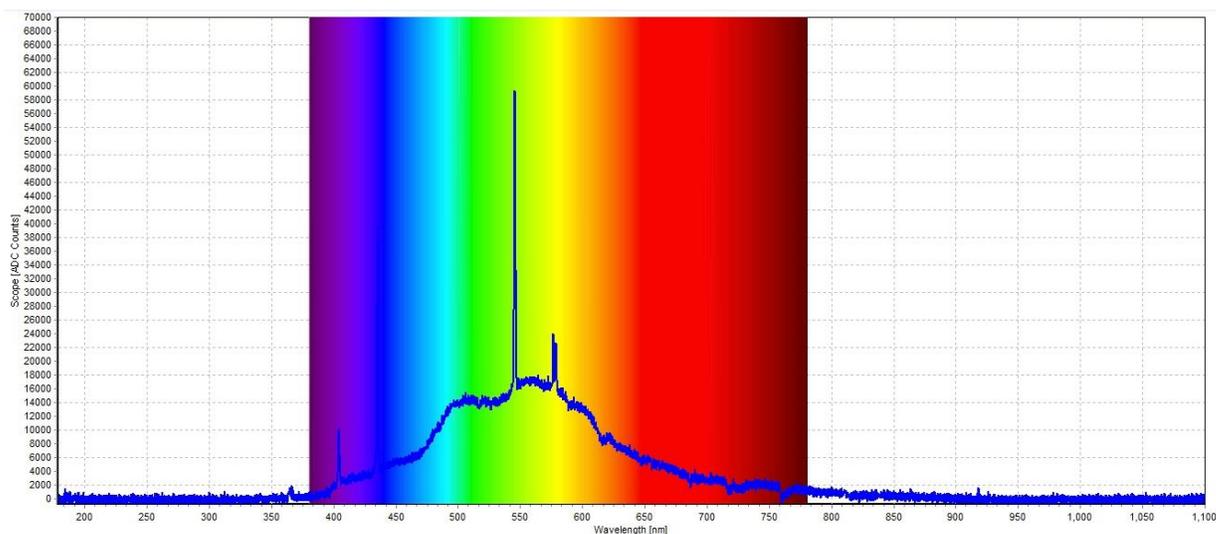
Imagen realizada por (Cazorla, M.C , Estación de Mediciones Atmosféricas EMA USFQ, 2015)

Las coordenadas de la estación dónde fueron tomadas las medidas son:

- Latitud: $-0^{\circ}11'47''$
- Longitud: $-78^{\circ}26'6''$
- Altitud 2391 m sobre el nivel del mar

La irradiancia es más importante entre las 9h30 y las 12h30 siendo máxima alrededor de las 10h30 con aproximadamente $950 W/m^2$.

Mientras tanto, para la luz artificial generada por focos ahorradores, se obtiene la intensidad de la radiación descrita por la siguiente figura:



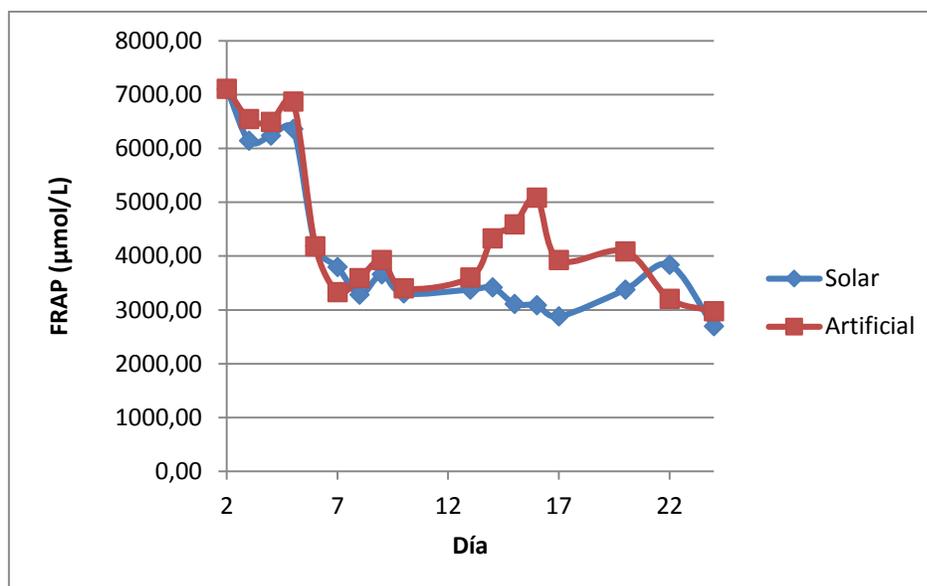
Gráfica 5.3.3 Espectro de la luz emitida por un foco ahorrador

Imagen realizada por de (Cazorla, M.C , Estación de Mediciones Atmosféricas EMA
USFQ, 2015)

Las radiaciones mayoritarias están comprendidas entre los 480nm y los 620nm. La luz verde es aquella predominante en el espectro de la luz artificial.

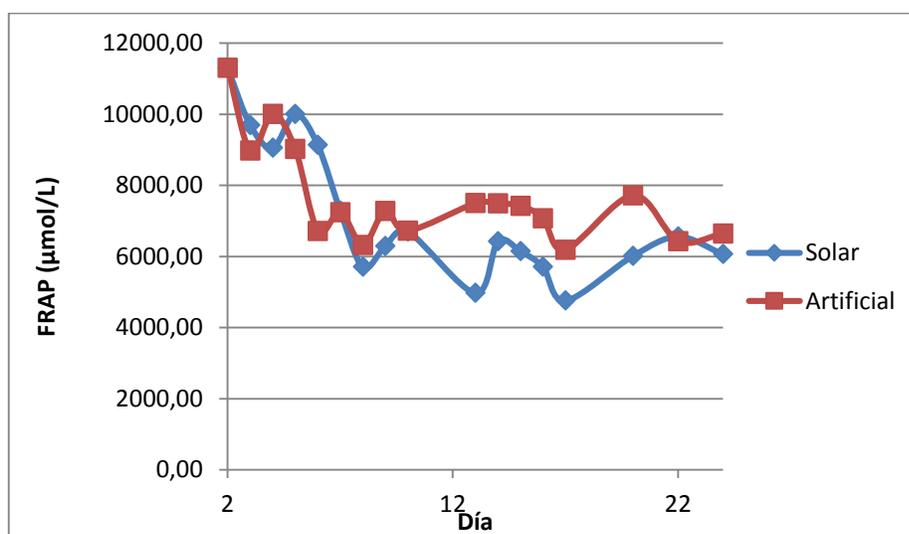
5.3.2 Variación de la actividad antioxidante

Los análisis de radiación, bajo la luz solar y artificial, realizados, permitieron llegar a los siguientes resultados:



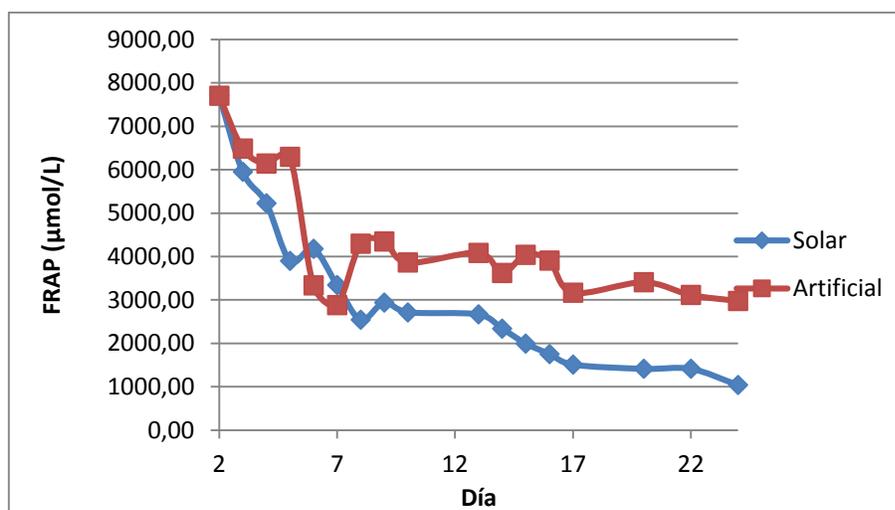
Gráfica 5.3.2.1 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SECP2

Existen fluctuaciones en el decrecimiento de la actividad antioxidante, tanto para la muestra expuesta a la luz artificial como para la muestra expuesta a la luz solar. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 62% desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 58% en la luz artificial.



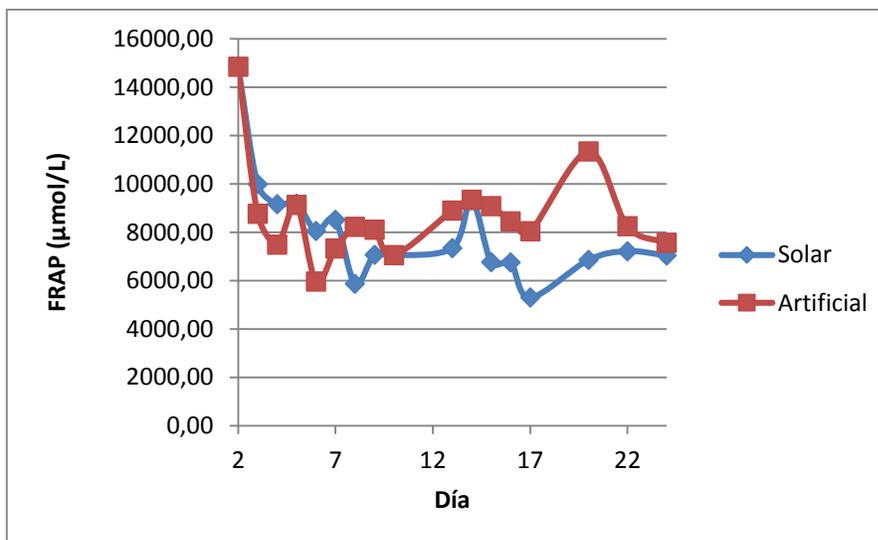
Gráfica 5.3.2.2 Variación de la actividad antioxidante para la muestra WAYCHIRPAS2

Se presentan leves fluctuaciones en el decrecimiento de la actividad antioxidante, tanto para la muestra expuesta a la luz artificial como para la muestra expuesta a la luz solar. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 46% desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 41% en la luz artificial.



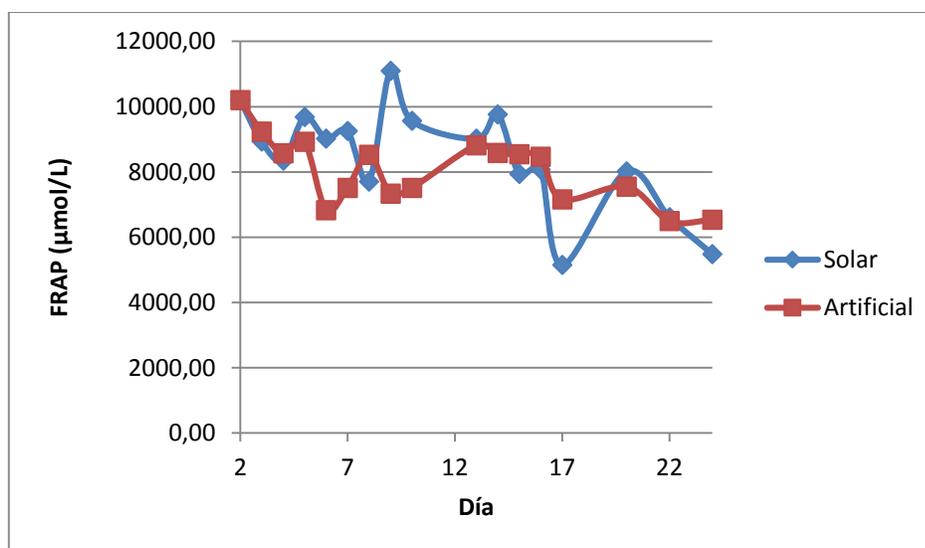
Gráfica 5.3.2.3 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SMA1

La actividad antioxidante decrece hasta el día 8 para la muestra expuesta a la luz artificial y luego parece estabilizarse. La actividad antioxidante de la muestra expuesta a la luz solar decrece desde el día 1 al 23. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 86,5% desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 61,4% en la luz artificial.



Gráfica 5.3.2.4 Variación de la actividad antioxidante para la muestra KAPAPAS2

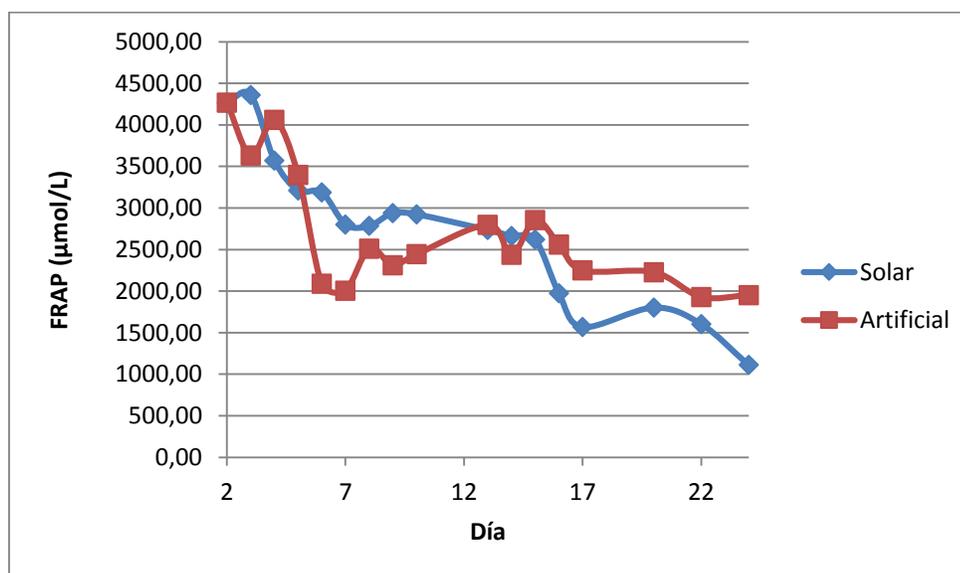
La actividad antioxidante decrece hasta el día 6 para la muestra expuesta a la luz artificial y hasta el día 8, para la muestra expuesta a la luz solar; luego la actividad antioxidante parece estabilizarse con fluctuaciones importantes. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 52,6% desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 49% en la luz artificial.



Gráfica 5.3.2.5 Variación de la actividad antioxidante para la muestra VALL6

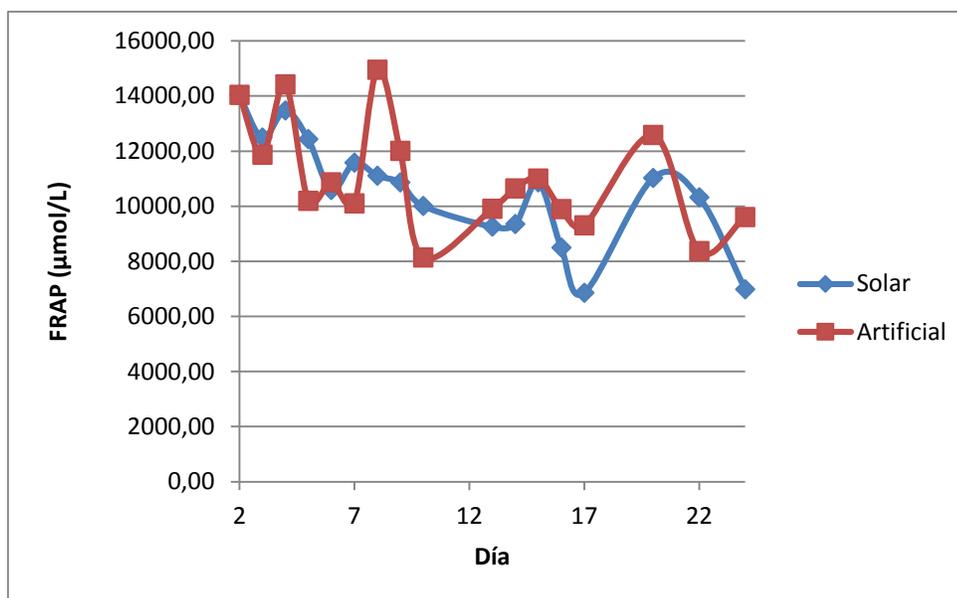
La actividad antioxidante decrece con amplias fluctuaciones, en particular para la luz solar.

La actividad antioxidante en los extractos decrece de 46,3% desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 36% en la luz artificial.



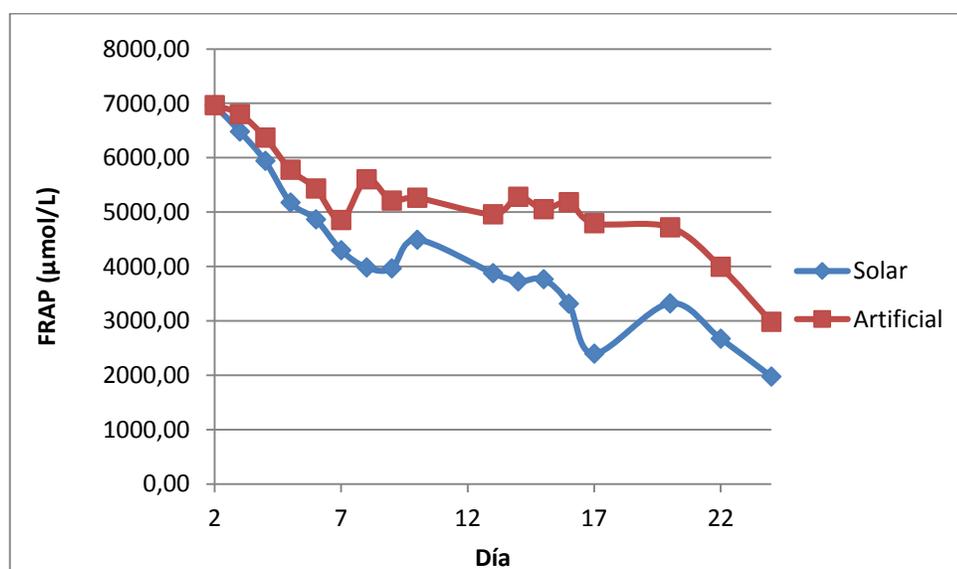
Gráfica 5.3.2 6. Variación de la actividad antioxidante para la muestra ATCP01

La actividad antioxidante decrece hasta el día 7 para la muestra expuesta a la luz artificial y luego parece estabilizarse. La actividad antioxidante de la muestra expuesta a la luz solar decrece desde el día 1 al 23. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 74% desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 54% en la luz artificial.



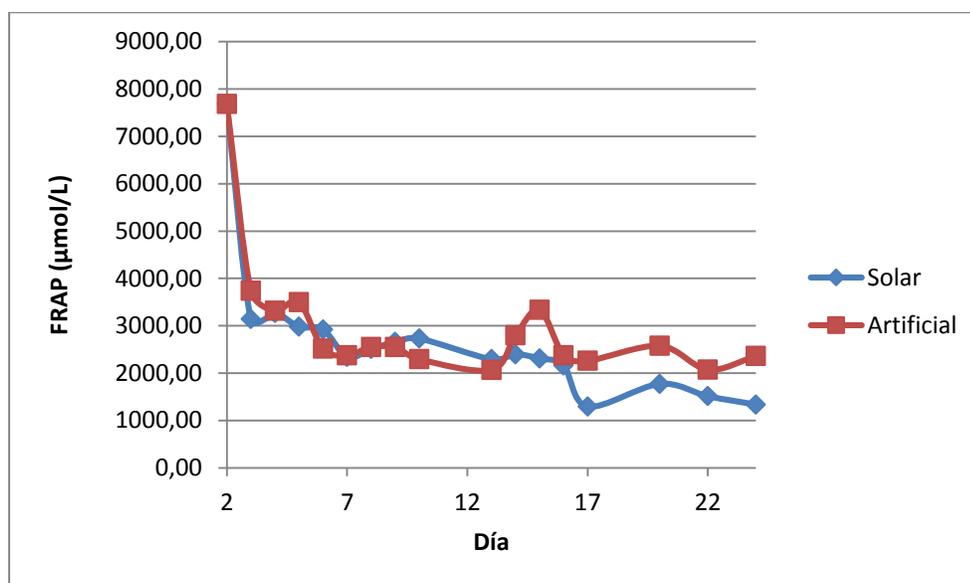
Gráfica 5.3.2.7 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SJP1

La actividad antioxidante decrece con amplias fluctuaciones, tanto para la luz solar como para la luz artificial. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 50,3 desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 31,6% en la luz artificial.



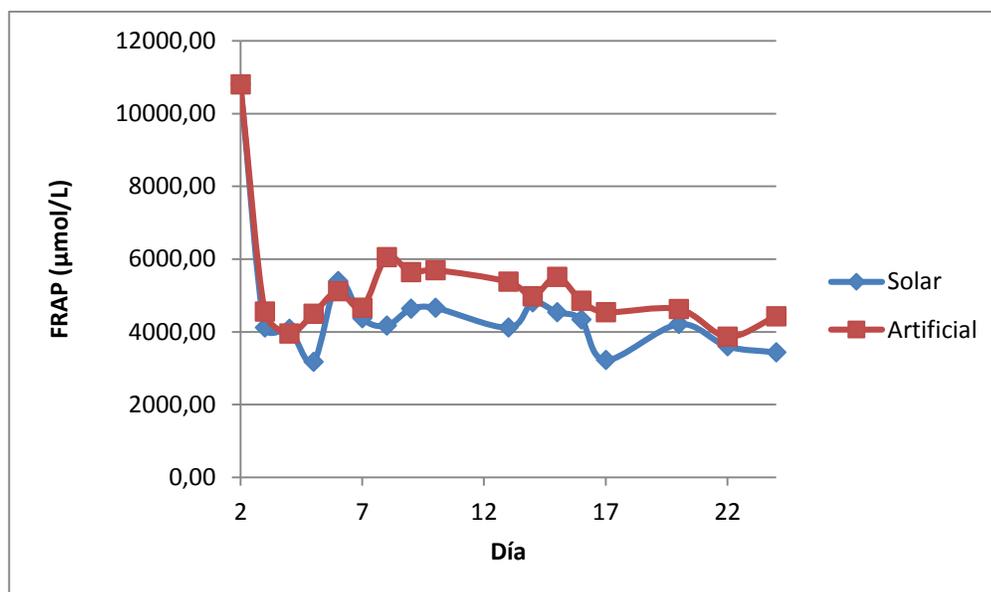
Gráfica 5.3.2.8 Variación de la actividad antioxidante para la muestra PON2

La actividad antioxidante decrece de manera constante tanto para la luz solar como para la luz artificial. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 71,6 desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 57,1% en la luz artificial.



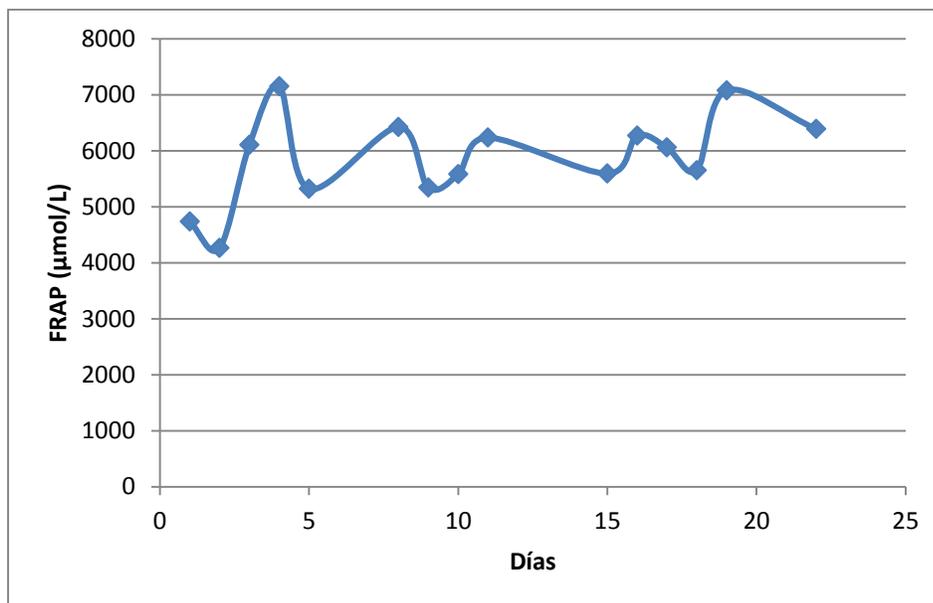
Gráfica 5.3.2.9 Variación de la actividad antioxidante para la muestra RYCP2

La actividad antioxidante decrece de manera acelerada hasta el día 3 y luego parece estabilizarse, tanto para la luz solar como para la luz artificial. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 82,6 desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 69,3% en la luz artificial.

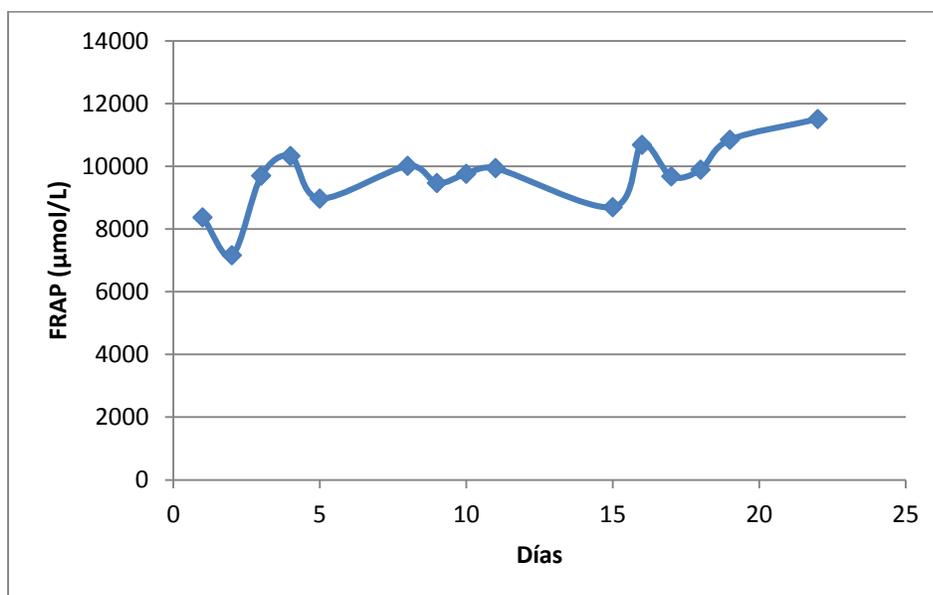


Gráfica 5.3.2.10 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SRA1

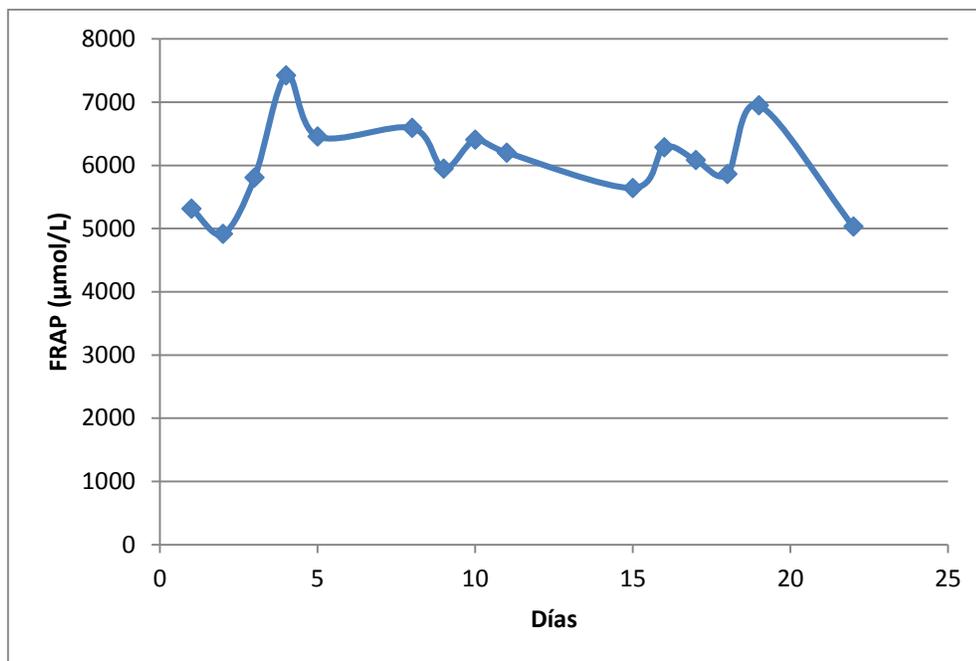
La actividad antioxidante decrece de manera acelerada hasta el día 3 y luego parece estabilizarse, tanto para la luz solar como para la luz artificial. La actividad antioxidante en los extractos decrece de 68,2 desde el día 1 al 23 en la luz solar y un 59% en la luz artificial. Mientras tanto, los resultados de la variación de la actividad antioxidante de las muestras sometidas a la oscuridad se presentan de la siguiente manera:



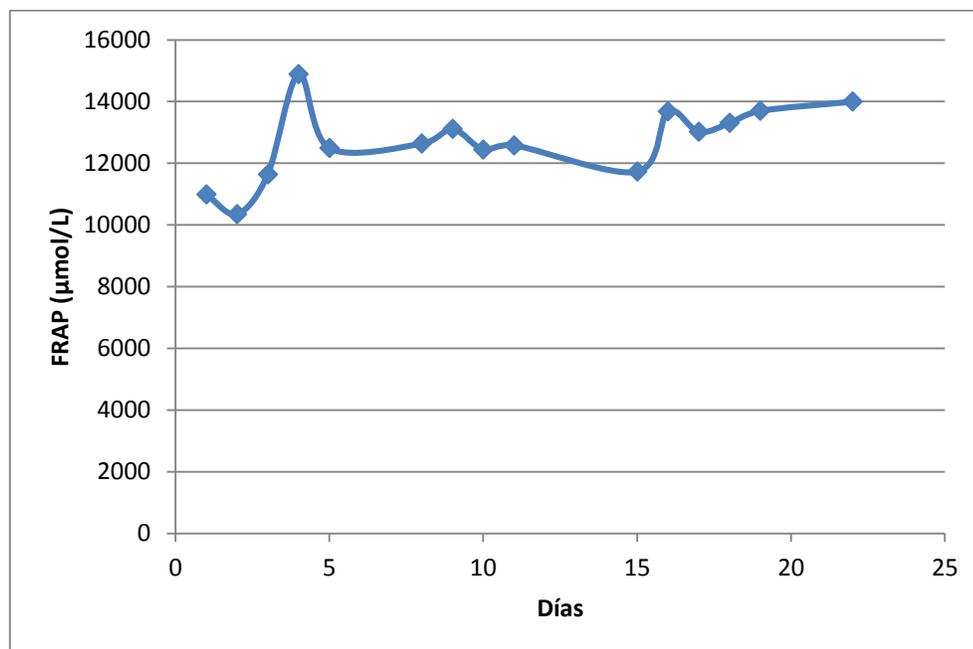
Gráfica 5.3.2.11 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SECP2 sometida a la oscuridad



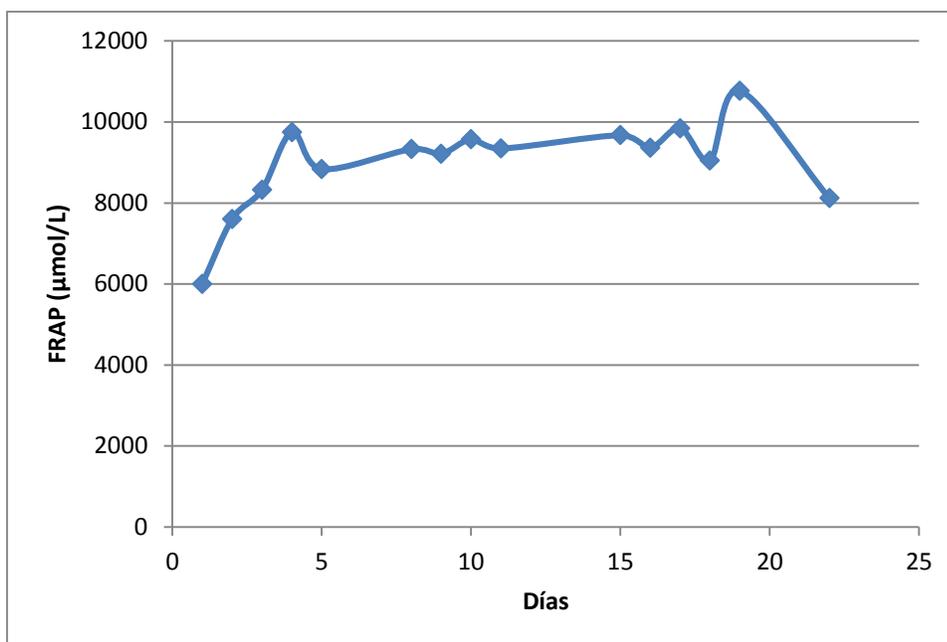
Gráfica 5.3.2.12 Variación de la actividad antioxidante para la muestra WAYCHIRPAS2 sometida a la oscuridad



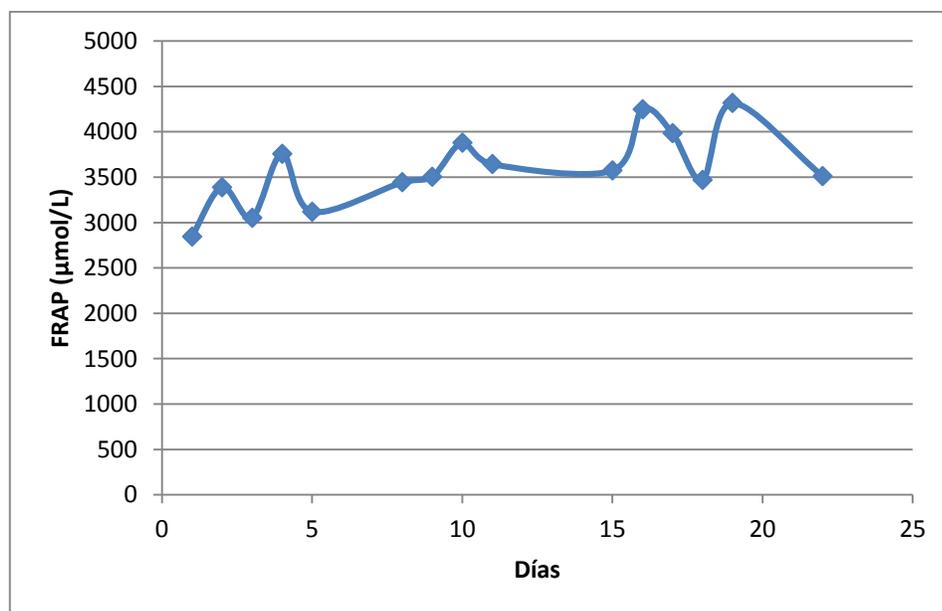
Gráfica 5.3.2.13 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SMA1 sometida a la oscuridad



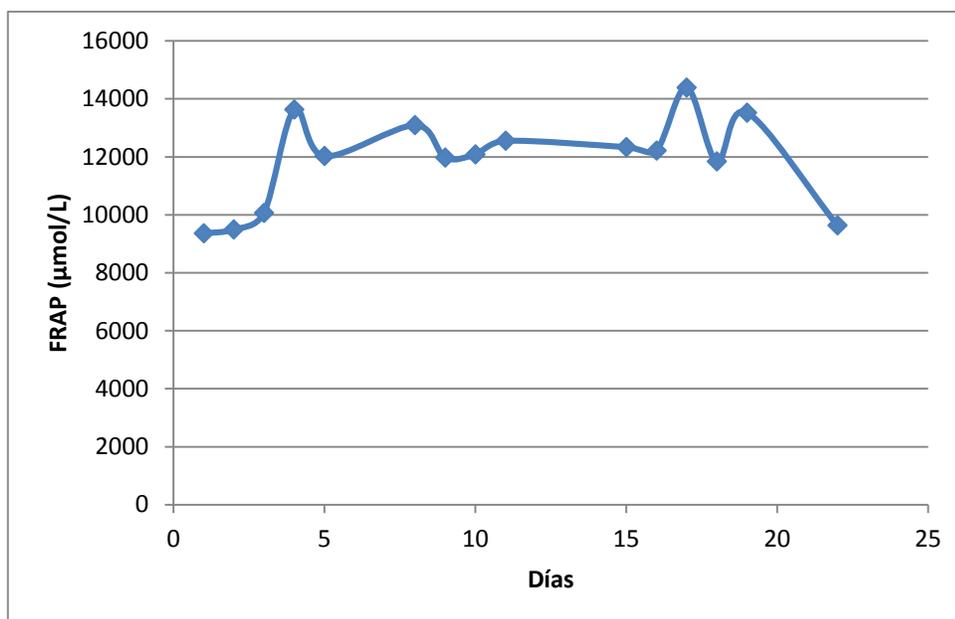
Gráfica 5.3.2.14 Variación de la actividad antioxidante para la muestra KAPAPAS2 sometida a la oscuridad



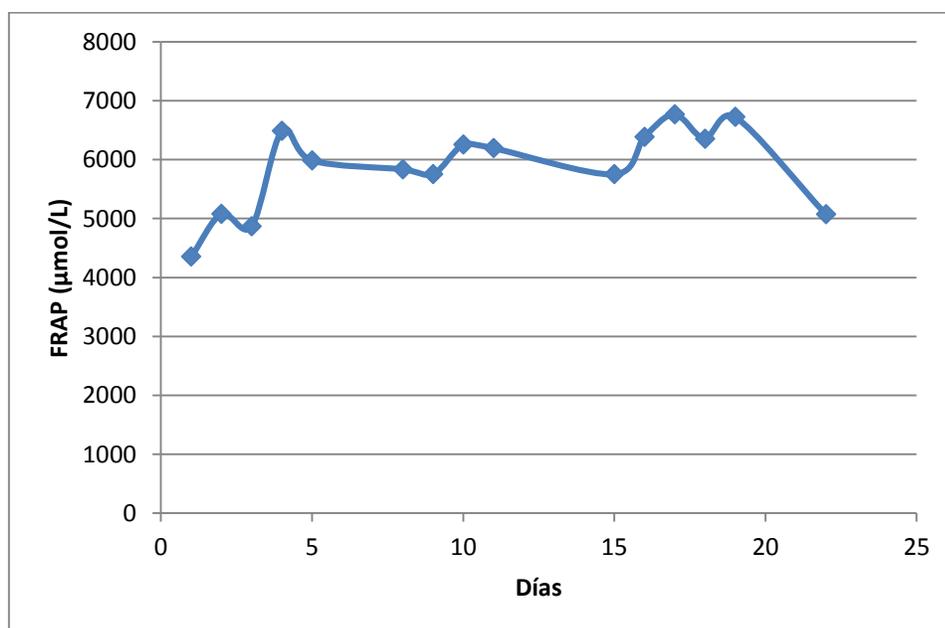
Gráfica 5.3.2.15 Variación de la actividad antioxidante para la muestra VALL6 sometida a la oscuridad



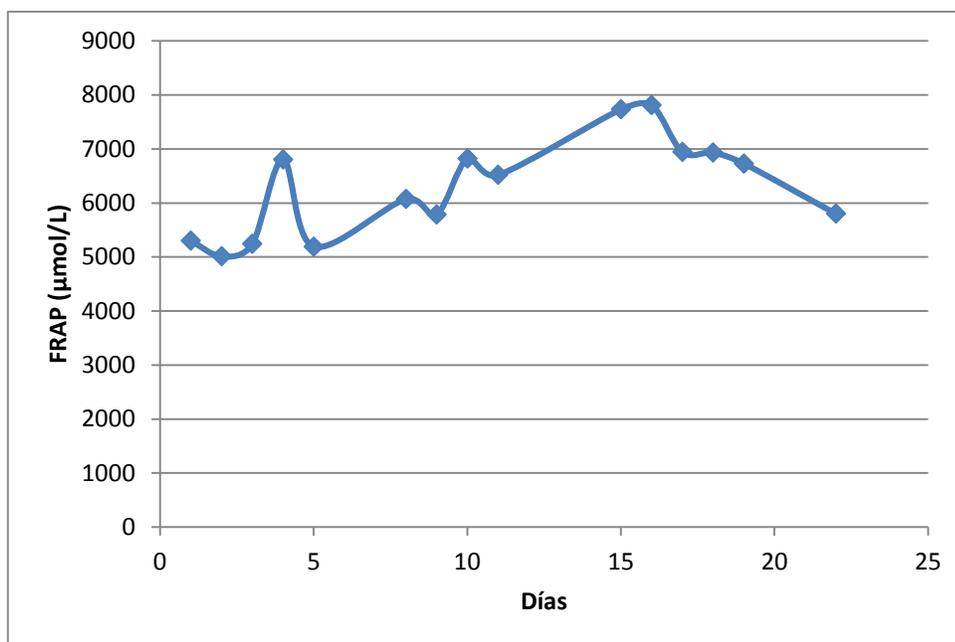
Gráfica 5.3.2.16 Variación de la actividad antioxidante para la muestra ATCP01 sometida a la oscuridad



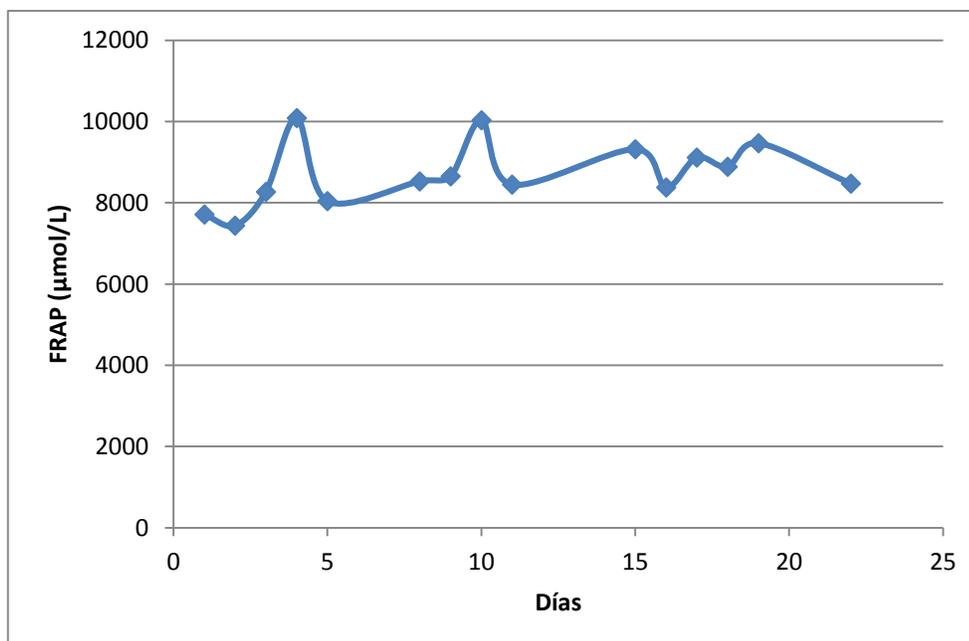
Gráfica 5.3.2.17 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SJP1 sometida a la oscuridad



Gráfica 5.3.2.18 Variación de la actividad antioxidante para la muestra PON2 sometida a la oscuridad



Gráfica 5.3.2.19 Variación de la actividad antioxidante para la muestra RYCP2 sometida a la oscuridad



Gráfica 5.3.2.20 Variación de la actividad antioxidante para la muestra SRA1 sometida a la oscuridad

Para las muestras expuestas a la oscuridad, la actividad antioxidante parece oscilar alrededor de un valor promedio. Para algunas muestras como SECP2, SJP1 Y RYCP2 las fluctuaciones son de mayor amplitud.

Las tablas correspondientes a los valores numéricos de las variaciones de actividad antioxidante se presentan en anexos.

5.4 Presentación de la infusión de guayusa

Tomando en cuenta los estudios hechos sobre bebidas con niveles considerables de actividad antioxidante, la vida útil de los productos de té listos para beber es generalmente de 12 meses, sin embargo, el envejecimiento (oxidación) de los productos durante ese tiempo es extenso. Se pretende que la actividad antioxidante se conserva mejor en envases de vidrio, seguidos por envases PET, y finalmente en bolsas esterilizada donde su degradación es mayor. Se estima que las diferencias de actividad antioxidante se producen por el grado diferente de permeabilidad de los materiales de embalaje al oxígeno. (Kim, Welt, & Talcott, 2011). En base a estos conocimientos, y considerando los costos más elevados de los envases de vidrio, es preferible para volúmenes pequeños emplear botellas de polietileno tereftalato. Por otro lado, como se observa en las gráficas de la sección 5.3.2, la afectación de la actividad antioxidante, del producto, por la luz obliga a emplear botellas oscuras con etiquetas de cuerpo completo. Por ende, se escoge presentar la infusión de guayusa en botellas de 400 ml de PET oscuras con etiquetas de cuerpo entero.

5.5 Estudio de mercado

5.5.1 Principales usos

La infusión de guayusa está destinada al consumo alimenticio humano y es un producto natural, que no contiene saborizantes artificiales agregados, tomando ventaja sobre otras bebidas tipo té cuyo origen no es natural. Las funciones principales de este producto son calmar la sed, refrescar e hidratar a quien lo consuma. Además de esto, la infusión de guayusa posee características organolépticas especiales, como son su sabor suave y su aroma agradable dándole una función degustativa. La infusión de guayusa lista para beber permite ahorrar tiempo en relación a su preparación casera por medio de hierbas deshidratadas. Así mismo, la guayusa es una planta con beneficios poco difundidos y todavía desconocidos para muchos individuos, por lo que todavía conserva un grado de exotismo. Por estas razones, los consumidores encontraran en la infusión de guayusa una nueva tendencia que denota exotismo, salud y moda. Las bebidas envasadas en botellas plásticas de volúmenes pequeños son portátiles y se pueden desplazar fácilmente con el consumidor a cualquier lugar y circunstancia haciéndolo un producto práctico en el ambiente laboral, familiar, o recreativo.

5.5.2 Clientes potenciales

5.5.2.1 Población considerada

Vamos a enfocarnos en abastecer la demanda de la región centro y norte de Quito; las zonas consideradas, así como su población en 2010 y su proyección para 2015 se presentan en la tabla a continuación:

Tabla 5.5.2.1.1 Población en 2010 y proyección para 2015 en zonas Centro y Norte de Quito

Zona/Año	2010	2015
Eugenio Espejo	388708	442961
Manuela Sáenz	218714	249241
La Delicia	341125	388737
Noroccidente	12485	14228
Norcentral	16222	18486
Calderón	162584	185276
Tumbaco	81407	92769
Total	1221245	1391697

Datos recuperados de (Estévez, 2010)

La proyección de la población para 2015, se efectuó aplicando a la población de 2010 de cada zona, el factor de relación entre la población global de toda la ciudad de Quito en el 2015 (2.551.721 de habitantes) y la población del 2010 (2.239.191 habitantes) (INEC, 2011). De este modo, se puede determinar que la población en la zona centro y norte de Quito es de aproximadamente 1391697 habitantes en 2015.



Figura 5.5.2.1.1 Distribución zonal del distrito metropolitano de Quito

(Municipio del D.M.Q, 2009)

5.5.2.2 Muestreo

Para determinar qué grupo de personas tienen mayor interés en consumir la infusión de guayusa se realizó un sistema de encuestas.

En primer lugar, se determinó el tamaño de la muestra para un nivel de confianza del 95% y un error del 5%.

El tamaño de la muestra está dado por la siguiente relación:

$$n = \frac{Z^2 \cdot P \cdot Q \cdot N}{N \cdot e^2 + Z^2 \cdot P \cdot Q} \quad (5.5.2.2.1)$$

En donde Z es el coeficiente de confianza, N es el tamaño de la población, e es el error máximo admisible, P es la probabilidad a favor (de que el evento ocurra), Q es la

probabilidad en contra (de que no ocurra el evento). En este caso el coeficiente de confiabilidad Z es igual a 1,96 (95% confiabilidad, 5% error), N es 1391697 (la población del centro, norte de Quito en 2015 calculada). Al no conocer suficiente información acerca de la aceptación o el rechazo, se le asigna a P y Q el valor 0,5. (Vivanco, 2005)

De este modo, podemos calcular:

$$n = \frac{1,96^2 \times 0,5 \times 0,5 \times 1391697}{1391697 \times 0,05^2 + 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5} \quad (5.5.2.2.2)$$

$$n = 384$$

Se tienen que realizar entonces 384 encuestas para determinar el grupo de individuos más interesados en el consumo de infusión de guayusa.

5.5.2.3 Resultados de las encuestas y cálculo de la demanda

Las encuestas dieron los resultados presentados a continuación:

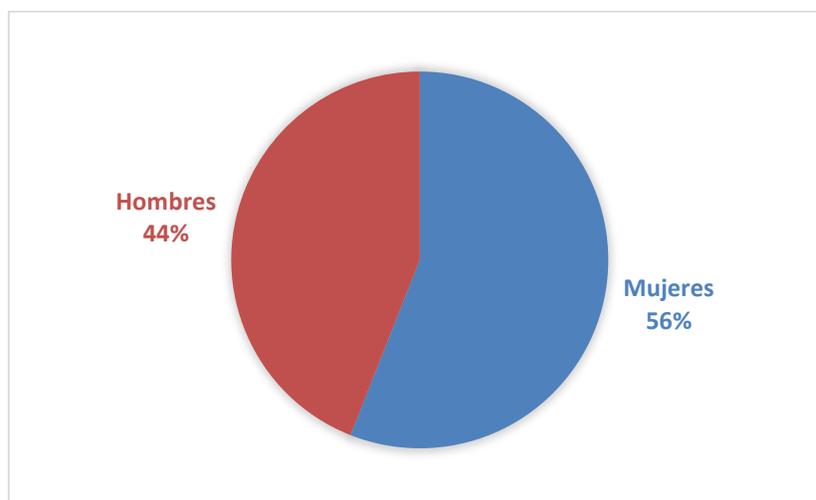


Figura 5.5.2.3.1 Distribución de los encuestados por género

La mayoría de los encuestados fueron mujeres representando un 56%, por ende los hombres participaron en un 44%.

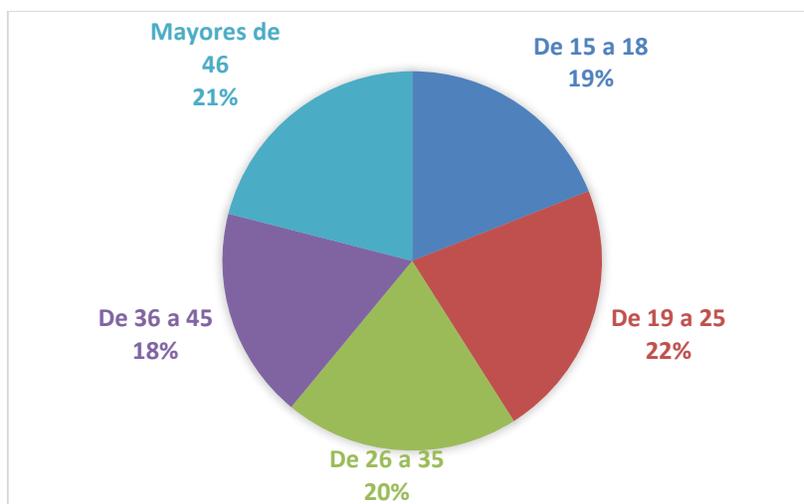


Figura 5.5.2.3.2 Distribución de los encuestados por edad

Se distinguió 5 grupos de edad entre los cuales el 22% de los participantes a la encuesta, tenían entre 19 y 25 años, el 21% eran mayores de 46, el 20% tenían entre 26 y 35 años, el 19% eran adolescentes entre 15 y 18 años, y el 18% eran adultos entre 36 y 45 años.

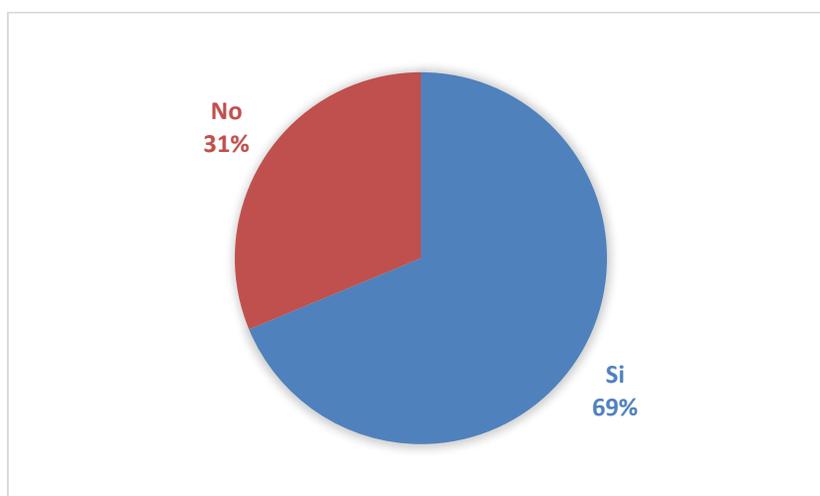


Figura 5.5.2.3.3 Disposición a la compra de infusión de guayusa en presentación de 400 mL

Al preguntarle al público la disposición de comprar infusión de guayusa en envase de plástico en presentación de 400 mL, el 69% estaba interesado en adquirir la bebida, mientras que un 31% afirmó no tener disposición a comprarla. La distribución de las respuestas a la disposición de compra de la infusión, por edades, se describe en la tabla a continuación:

Tabla 5.5.2.3.1 Disposición a comprar la infusión en presentación de 400 mL por edades

	Si	%	No	%	Total personas
De 15 a 18	53	72,6	20	27,4	73
De 19 a 25	70	83,3	14	16,7	84
De 26 a 35	58	75,3	19	24,7	77
De 36 a 45	40	58,0	29	42,0	69
Mayores de 46	47	58,1	34	41,9	81

En base a los datos encontrados, se puede determinar que el grupo con mayor interés en consumir infusión de guayusa es aquel con edades comprendidas entre los 19 y 35 años de edad; la disposición a comprar el producto fue de 83% para jóvenes entre 19 y 25 años y de 75% para adultos de entre 26 a 35 años. Efectivamente, las personas dentro de este rango son jóvenes estudiantes o personas iniciando su vida laboral con mayor desgaste físico y con poder adquisitivo creciente. Por ende, se delimitará la demanda a personas que se encuentren dentro de este grupo de edades.

En los sectores del centro y norte de Quito seleccionados para la venta de infusión de guayusa, las poblaciones entre 19 y 35 años se presentan en la siguiente tabla:

Tabla 5.5.2.3.2 Población entre 19 y 35 años en 2010 y proyección para 2015 en zonas Centro y Norte de Quito

Zona/Año	2010	2015
Eugenio Espejo	120173	136946
Manuela Saenz	66461	75737
La Delicia	106131	120944
Noroccidente	2871	3272
Norcentral	3710	4228
Calderón	50356	57384
Tumbaco	23351	26610
Total	373053	425121

Datos recuperados de (Estévez, 2010)

La población entre 19 y 35 años, de las zonas centro y norte de Quito, proyectada para el 2015 es de aproximadamente 425121 personas.

Por otro lado, se consultó la frecuencia de consumo de infusiones y se obtuvo los siguientes valores para las poblaciones entre 19 y 35 años.

Tabla 5.5.2.3.3 Frecuencia de consumo de infusiones en personas entre 19 y 35 años

Frecuencia/Edad	De 19 a 25	%	De 26 a 35	%	Total personas	%
1 vez al mes	11	13,1	24	31,2	35	22
1 vez por semana	14	16,7	14	18,2	28	17
2 veces por semana	14	16,7	5	6,5	19	12
3 veces por semana	18	21,4	3	3,9	21	13
Más de 3 veces por semana	22	26,2	21	27,3	43	27
Nunca	5	6,0	10	13,0	15	9
Total	84	100	77	100	161	100

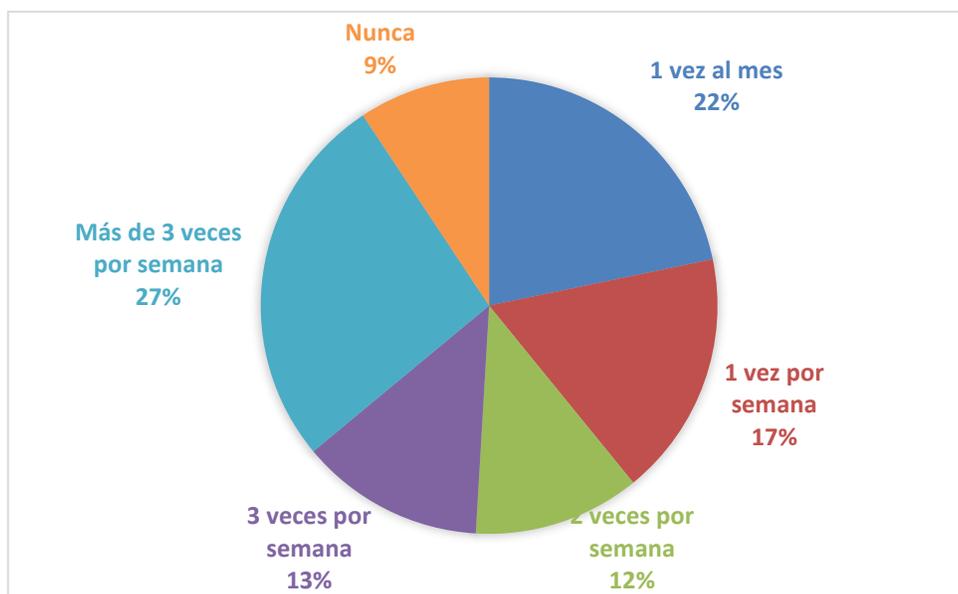


Figura 5.5.2.3.4 Frecuencia de consumo de infusiones en personas entre 19 y 35 años

Se observa, que la mayoría de personas entre 19 y 35 años (27%), consumen infusiones más de tres veces por semana. Por otro lado, el 31% de las personas no consumen infusiones nunca, o las consumen una vez al mes. A partir de estos datos, se puede decir que las personas tienden a consumir infusiones 3 veces por semana, en promedio, considerando aquellos que consumen bastante con aquellos que no consumen y aquellos que las consumen moderadamente.

Así mismo, se consultó el precio que el consumidor estaría dispuesto a pagar por una infusión de guayusa en un envase plástico de 400 mL y se obtuvo las siguientes respuestas para el grupo entre 19 y 35 años:

Tabla 5.5.2.3.4 Preferencias de precios para infusión de guayusa en presentación de 400mL para personas entre 19 y 35 años

	De 19 a 25	%	De 26 a 35	%	Total personas	%
Menos de 50 centavos	7	8,3	19	24,7	26	16,1
De 0,50 a 1 dólar	58	68,8	33	42,9	91	56,4
Más de 1 dólar	5	6,4	6	7,8	11	7,0
No comprarán	14	16,6	19	24,7	33	20,5
Total	84	100,0	77	100,0	161	100,0

La mayoría de personas entre 19 y 35 años están dispuestos a pagar entre 0,50 y 1 dólar, por la infusión de guayusa en presentación de 400mL. Por lo tanto, destinaremos la infusión de guayusa al 56,4% del público entre 19 y 35 años, que es aquel que tiene preferencia en pagar ese precio. Adicionalmente, nos proponemos satisfacer únicamente el 20% del anterior porcentaje de jóvenes entre 19 y 35 años que están dispuestos a pagar entre 0,50 y 1 dólar. Este porcentaje se basa en consideraciones sobre el consumo de productos sustitutos como los té, bebidas tipo té, aguas saborizadas, e infusiones de otras especies vegetales que rivalizan con la infusión de guayusa en el mercado y frecuentemente se confunden con la misma.

Por ende, la demanda se aproxima por la siguiente expresión:

$$D = 425121 \text{ personas} \times \frac{56,4}{100} \times \frac{20}{100} \times 3 \frac{\text{botellas}}{\text{persona. semana}} \times \frac{1 \text{ semana}}{7 \text{ días}}$$

$$D = 20552 \frac{\text{botellas}}{\text{día}} \times \frac{0,4L}{1 \text{ botella}} \approx 8221 \frac{\text{Litros}}{\text{día}}$$

Si se pretende producir la infusión de guayusa en un turno de 8 horas diarias, la demanda horaria para la planta industrial estaría dada de la siguiente manera:

$$D = 20552 \frac{\text{botellas}}{\text{día}} \times \frac{1 \text{ día}}{8 \text{ horas}} = 2569 \frac{\text{botellas}}{\text{hora}}$$

$$D = 2569 \frac{\text{botellas}}{\text{hora}} \times \frac{0,4L}{1 \text{ botella}} \approx 1028 \frac{\text{Litros}}{\text{hora}}$$

5.5.3 Características del mercado

En el estudio de Gualle, 2010 se evaluó las preferencias de consumo de bebidas no alcohólicas en una muestra de 1000 personas entre 12 y 64 años en la ciudad de Quito. Se determinó que en la población considerada las gaseosas y el agua mineral y los jugos son los más consumidos. Los té listos para beber representan el 10%. Actualmente, las infusiones naturales listas para beber son escasas en el mercado y generalmente son confundidas con las bebidas tipo té que difieren en cuanto a la formulación y métodos de elaboración.

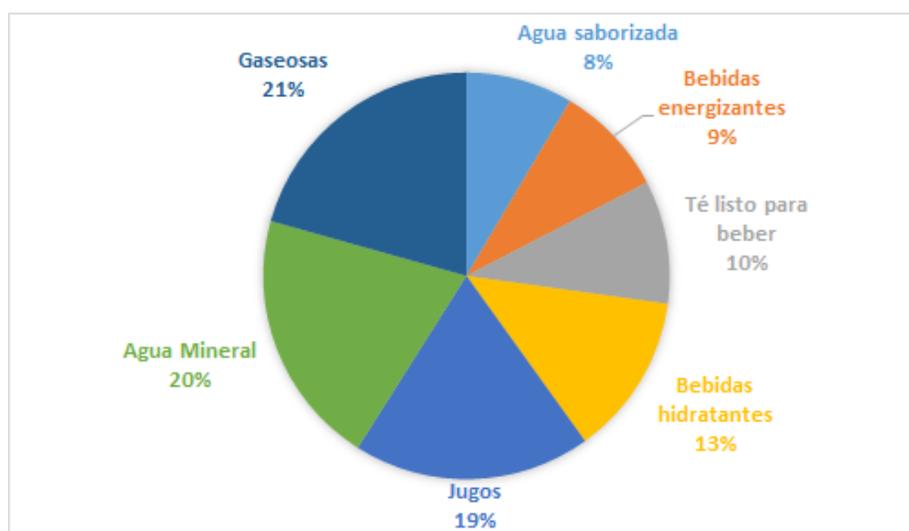


Figura 5.5.3.1 Preferencias de consumo en bebidas no alcohólicas

Datos recuperados de (Gualle, 2010)

Se observa que el mercado ecuatoriano consume mayoritariamente gaseosas, agua mineral y jugos, mientras que productos como el té y el agua saborizada se consumen en porcentajes de alrededor 10%.

Por otro lado, (Macías, 2011) encuestó a 342 personas, tanto mujeres como hombres y consultó a la población los factores que toma en cuenta antes de elegir un producto refiriéndose a las bebidas tipo té, y obtuvo los resultados presentados a continuación:

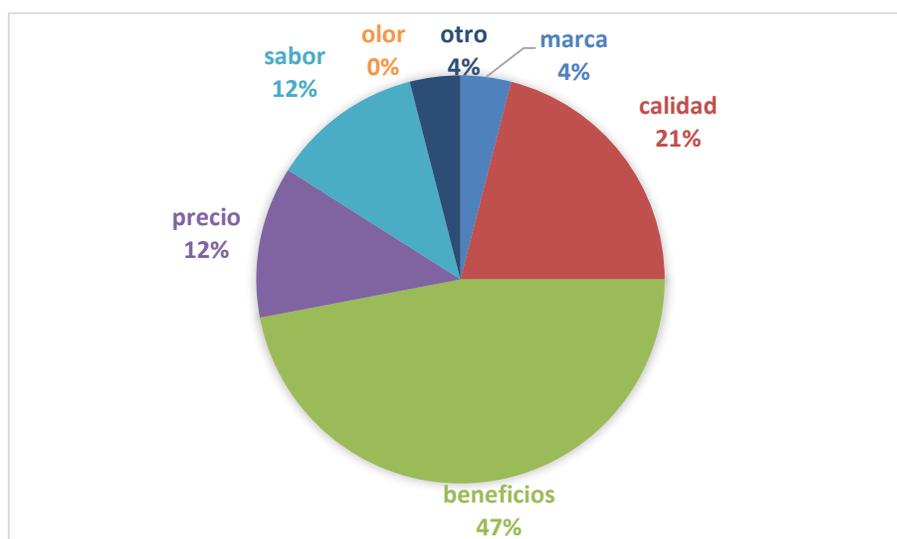


Figura 5.5.3.2 Factores a tomar en cuenta al adquirir un producto

Datos recuperados de (Macías, 2011)

Los consumidores le dan mayor importancia a los beneficios que aporta un producto; es decir que la bebida debe poseer una utilidad adicional más allá de ser un simple producto alimenticio. Así mismo, se observa que factores como la calidad, el sabor y el precio no

pueden pasar desapercibidos y que los consumidores también tienen exigencias específicas respecto a esos parámetros.

Adicionalmente, (Iza, 2010) encuestó a 100 personas en la ciudad de Quito, hombres y mujeres, y consultó el lugar de compra de infusiones, obteniendo los siguientes datos:

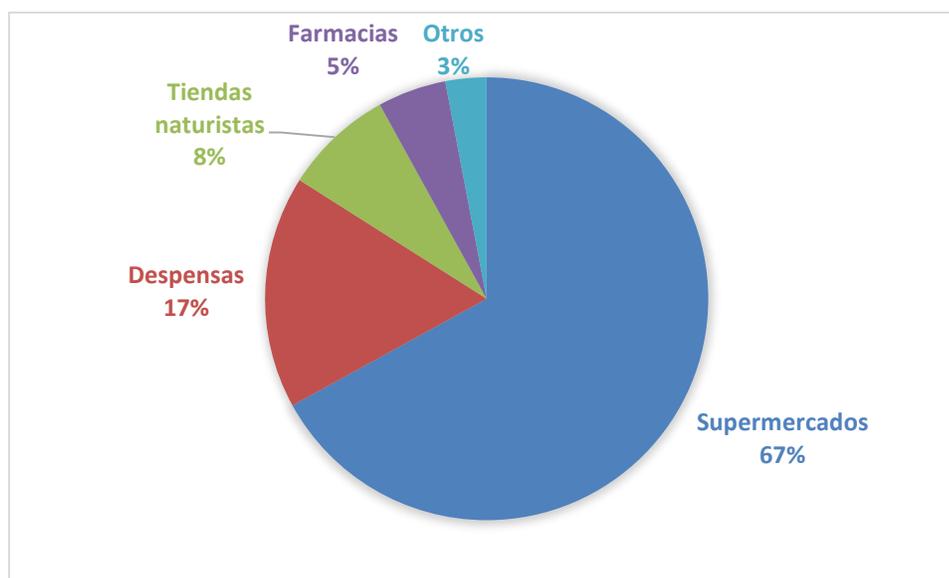


Figura 5.5.3.3 Lugar de compra de infusiones

Datos recuperados de (Iza, 2010)

Se determinó que el lugar preferido para la compra de infusiones son los supermercados y las despensas. Posiblemente, estos resultados reflejan que los quiteños buscan ante todo el ahorro de tiempo y la facilidad al momento de adquirir infusiones.

Por medio del análisis de estas características de mercado, se establece que es necesario, al momento de la venta, señalar al consumidor que el producto es una infusión natural y que posee varias ventajas sobre las bebidas tipo té. Por ende, la infusión de guayusa tendría una

mayor aceptación en el mercado que los productos sustitutos como las bebidas tipo té o aguas saborizadas, a pesar de un consumo preferente por gaseosas o las aguas minerales. De ahí que se aproxime el porcentaje de consumo de la infusión a un 20%. Así mismo es importante difundir las características que hacen de la infusión de guayusa un producto único y beneficioso; y finalmente sería interesante destinar la distribución de la infusión de guayusa lista para beber a tiendas o supermercados que faciliten la venta del producto y la hagan más accesibles a los consumidores.

5.5.4 Posibles competidores

Existen varias marcas de bebidas y productos que se asemejan a la infusión de guayusa en el mercado ecuatoriano. Particularmente, en el Ecuador existen tres competidores que ofrecen productos a base de guayusa, de los cuáles uno ofrece bebidas de guayusa similares a la que se quiere producir. Las empresas y fundaciones que las han generado son aquellas presentadas en la Tabla 5.5.4.1, entre ellas, la fundación Runa es aquella que ha diversificado más las bebidas a base de guayusa.

Tabla 5.5.4.1 Productores de derivados de Ilex guayusa en Ecuador

Nombre	Presentación del producto
Fundación Runa	Té de bayas enlatado de 250 mL Té de lima enlatado de 250 mL Té de guayusa y limón-hojas de limón embotellado de 414mL Té de guayusa, baya- hibisco embotellado de 414mL Té de guayusa-menta embotellado de 414mL Té de guayusa tradicional con jarabe de arce embotellado de 414mL Té de guayusa-guayaba sin azúcar embotellado de 414mL Té de guayusa-lima sin azúcar embotellado de 414mL Infusor piramidal de salvia-lavanda enlatado Infusor piramidal de baya- hibisco enlatado Infusor piramidal tradicional de guayusa enlatado Lata de hojas de guayusa tradicional Lata de hojas de menta-guayusa Lata de hojas de baya- hibisco, guayusa Lata de hojas de jengibre-cítricos, guayusa Lata de hojas de salvia-lavanda, guayusa Lata de hojas de canela-hojas de limón, guayusa Caja de canela-hojas de limón, guayusa Caja de jengibre-cítricos, guayusa Caja de guayusa tradicional Caja de menta-guayusa
Fundación Chankuap	Infusión de guayusa e Ishpink Infusión de 4 hierbas
Aromas del Tungurahua	Bolsas de té de guayusa

Datos Recuperados de (Fundación Chankuap, 2013); (Aromas de Tungurahua, 2015); (RUNA, 2015)

Adicionalmente Fundación Runa ha establecido los precios aproximados en la tabla 5.5.4.2.

El precio promedio es de 1,59 dólares para tés con presentación en lata de 250mL y de 3,35 dólares para botellas de 414mL.

Tabla 5.5.4.2 Precios de tés listos para beber de Fundación Runa

Presentación del producto	Precio unitario USD
Té de bayas enlatado de 250 mL	1,59
Té original enlatado de 250 mL	1,59
Té de guayusa y limón-hojas de limón embotellado de 414mL	3
Té de guayusa, baya- hibisco embotellado de 414mL	3,48
Té de guayusa-menta embotellado de 414mL	4,16
Té de guayusa tradicional con jarabe de arce embotellado de 414mL	3,48
Té de guayusa-guayaba sin azúcar embotellado de 414mL	3
Té de guayusa-lima sin azúcar embotellado de 414mL	3

Datos recuperados de <http://www.amazon.com/Runa-Amazon-Guayusa-Bottled-Hibiscus/dp/B00ER0N3Y4/>

Los productos de té ofrecidos por Fundación Runa, están más enfocados hacia los mercados internacionales; efectivamente solo se expenden 2 de sus productos en Ecuador. Mientras tanto, la fundación Chankuap y la empresa aromas de Tungurahua orientan sus productos al mercado local ecuatoriano, pero expenden el té en forma de hierbas y no han desarrollado bebidas de guayusa listas para tomar.

Adicionalmente, existen otros productos del tipo infusión lista para beber. En efecto, la empresa Induloja sacó al mercado ecuatoriano, en 2013, la infusión de hierbas de horchata, *forestea*, en una presentación de 475 ml con el costo de un dólar (Diario Centinela, 2013).

Los precios de la infusión de horchata son ligeramente superiores a los que se pretende asignar para la infusión de guayusa, sin embargo este producto, por sus características (natural, refrescante, medicinal, exótico, sabor agradable (Andes info, 2014)) es un rival potencial para la infusión de guayusa. Por otro lado, también existen tés que por su método de elaboración y orígenes naturales pueden competir con la infusión de guayusa. Es el caso de Cool Tea que es un extracto natural de té verde alto en antioxidantes. Existen pocas

marcas de infusiones listas para beber o de extractos naturales de té en el mercado ecuatoriano, por lo que la infusión de guayusa, en Quito, no conoce una competencia muy marcada, pudiendo tener un buen desarrollo y demanda dentro del mercado nacional.

5.5.5 Ventajas competitivas del producto

La infusión de *Ilex guayusa* Loes es un producto de origen natural y no contiene saborizantes agregados artificialmente. Por otro lado, la guayusa posee un sabor y un aroma suave y agradable que no tiene dificultad de adaptarse al paladar de los consumidores (Radice.M & Vidari.G, 2009). La infusión de *Ilex guayusa* podría tener propiedades antioxidantes y medicinales, aunque en niveles desconocidos y variables, que podrían reducir el riesgo de desarrollar enfermedades degenerativas en quienes la consumen. La producción de hoja de guayusa (aproximadamente un millón de libras de hojas en 2014) es creciente y se expande cada vez más en el territorio ecuatoriano así como en los territorios vecinos de Colombia y Perú donde también está ganando importancia (Weissmann, 2014). Por lo tanto, los precios de la hoja de guayusa, materia prima para la infusión, tienen tendencia a bajar en función de su volumen producido, haciendo de la infusión una bebida económica y nutritiva.

5.6 Localización de la planta

Para ubicar el recinto industrial para la elaboración de infusión de guayusa se debe tomar en cuenta los factores que facilitaran la producción, distribución y compra del producto. Efectivamente, hay que considerar la proximidad al mercado así como su tamaño y especificidad, la competencia, el acceso a las materias primas y servicios y el respeto del

medio ambiente. Estos parámetros varían continuamente por lo que la industria debe ubicarse adecuadamente como respuesta a las exigencias dispuestas. Se pretende instalar la planta en Calderón a proximidad de la panamericana norte, en la ciudad de Quito. Tomamos en cuenta los siguientes aspectos:

– Abastecimiento de materia prima:

La cercanía a las vías de comunicación permite el acceso seguro y sin complicaciones de las hojas de guayusa provenientes del oriente ecuatoriano hacia la planta industrial dónde serán procesadas. Las hojas de guayusa serán traídas de la provincia de Napo que se encuentra a apenas 3h30, de la ciudad de Quito, por vía terrestre.

– Localización del mercado

Según el censo nacional del 2010, la ciudad de Quito estaba habitada por 2.239.191 personas (Instituto Nacional de Estadística y Censos, 2015). En el año 2015 se proyecta que la población aumentó a 2.551.721 y se prevee una tendencia demográfica creciente en los cinco años a venir (INEC, 2011). Adicionalmente, los quiteños poseen el PIB per cápita más alto del país, con 5.773 dólares en 2013 (Banco Central del Ecuador; INEC, 2014). Esto representa una ventaja ya que la ciudad es un mercado de consumo potencial para el producto ya elaborado.

– Disponibilidad de la mano de obra

Se estima que la población en edad de trabajar en Quito fue de alrededor 1.392.000 personas en 2014 que representa casi la mitad de la población de la ciudad (INEC, 2014). Adicionalmente, Quito reúne un gran porcentaje del personal calificado del Ecuador (INEC, 2014). Estos factores proveen mayor facilidad de encontrar, tanto personal calificado, semi calificado y no calificado para emplear en la planta de elaboración de infusión de guayusa.

- Servicios

El área dónde se pretende instalar la planta, cuenta con todos los servicios básicos como son agua potable, electricidad, accesos y vías de comunicación terrestres, alcantarillado y proximidad a los puntos de transporte urbano. El área seleccionada se encuentra en el sector industrial norte de Quito y se encuentra distante de zonas altamente pobladas (Plusvalía, 2015).

5.7 Proceso de elaboración de la infusión de guayusa

Las normas INEN 023:2008 y INEN 1108:2006 establecen que el agua potable se puede usar como materia prima para la elaboración de productos de consumo humano siempre y cuando la concentración de aerobios mesófilos no sea superior a “100UFC/ml” (Unidades Formadoras de Colonias/ml) (Instituto ecuatoriano de normalización, 2008). Adicionalmente la EPMAPS afirma que el agua de la ciudad de Quito cumple con la norma con Norma INEN 1108, tras la certificación de la multinacional suiza SGS (EPMAPS, 2015). Por consiguiente, es posible elaborar la infusión de guayusa a partir del agua potable de la ciudad de Quito.

Preparación de la infusión de guayusa

- Recepción y selección

Las hojas de guayusa se colocan en una mesa y se inspeccionan manualmente, descartando aquellas que presentan impurezas o que han sido atacadas por insectos o hongos.

- Lavado

Las hojas se depositan en un tanque de PET dónde se sumergen en una solución de hipoclorito de sodio de 5ppm (Diversey Wyandotte del Ecuador S.A., 2012). Las hojas se retiran del agua para posteriormente ser enjuagadas en una mesa de enjuague por jets de agua a presión con mangueras.

- Escurrido

Seguidamente las hojas se escurren en un secador centrífugo hasta eliminar la mayor cantidad de agua posible.

- Pesado

Las hojas se pesan en una balanza con el fin de seleccionar la cantidad de materia prima a procesar.

- Extracción

Las hojas de guayusa ingresan en un tanque de acero inoxidable, enchaquetado, con leve agitación que contiene el agua previamente calentada a 90°C. Las hojas permanecen 10 minutos dentro del tanque.

- Filtración

El contenido del tanque atraviesa por un filtro colador que retiene los desechos de hojas de guayusa, mientras que el filtrado pasa a la sección de mezclado.

- Mezclado

La infusión ingresa a un tanque de acero inoxidable donde se agrega el azúcar y el ácido ascórbico.

- Pasteurización

Se pasteuriza la infusión a 90°C y se la envía a la unidad de embotellado.

Embotellado y almacenamiento

- Enjuague de botellas

Se enjuaga con agua las botellas oscuras de PET para eliminar cualquier residuo de las botellas.

- Embotellado

La infusión de guayusa ingresa a la llenadora donde las válvulas van llenando las botellas.

Posteriormente una taponadora roscadora coloca las tapas a las botellas.

- Etiquetado, embalaje y almacenamiento

Las botellas son trasladadas hacia una mesa donde son etiquetadas con etiquetas de cuerpo entero. Posteriormente las botellas son empaquetadas manualmente, para luego ser almacenadas en una bodega fría a 4°C.

5.7.1 Diagrama de bloques, de flujo

A continuación se presenta los diagramas descriptivos de la elaboración de la infusión.

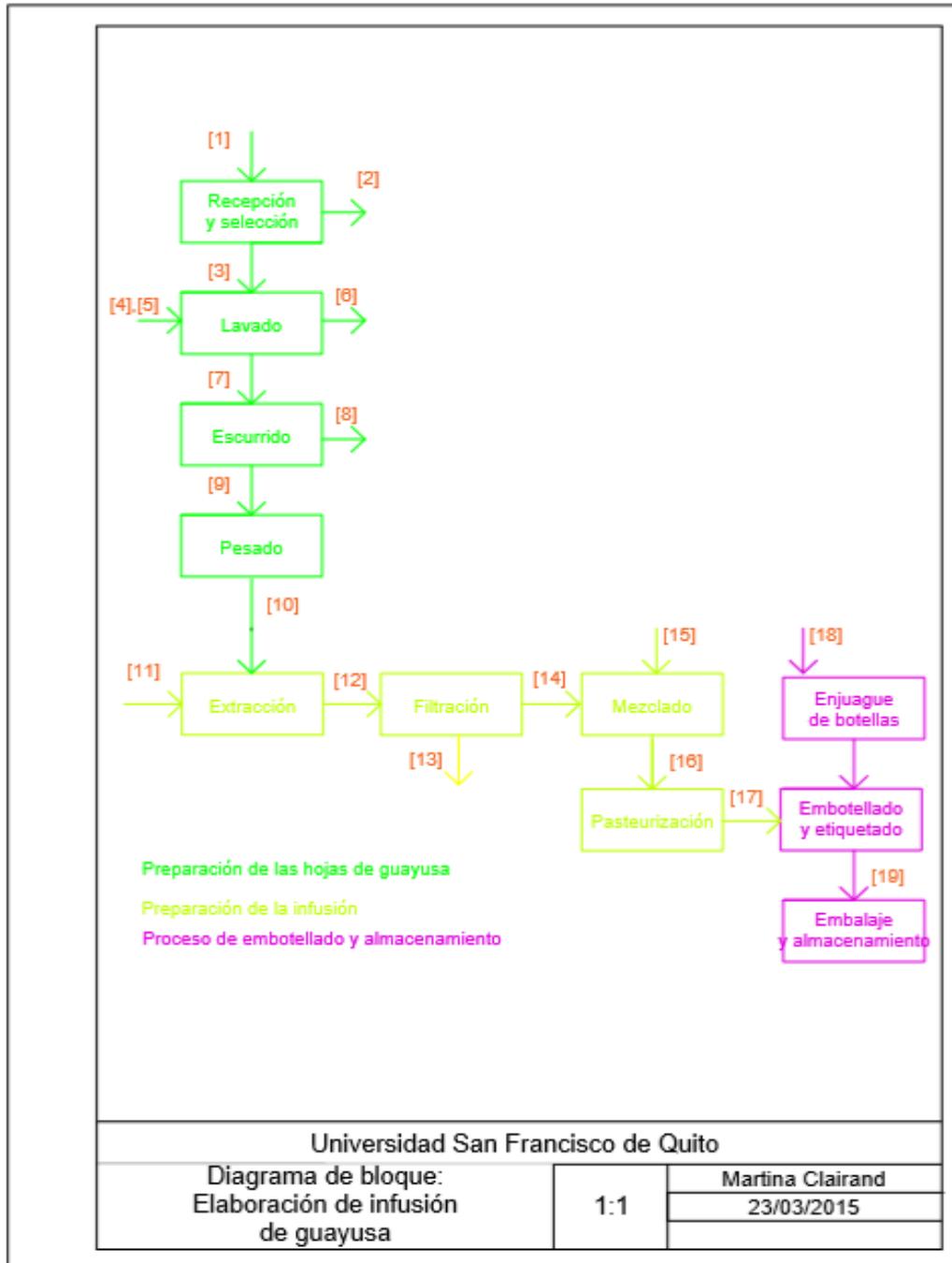


Figura 5.7.1.1 Diagrama de bloques

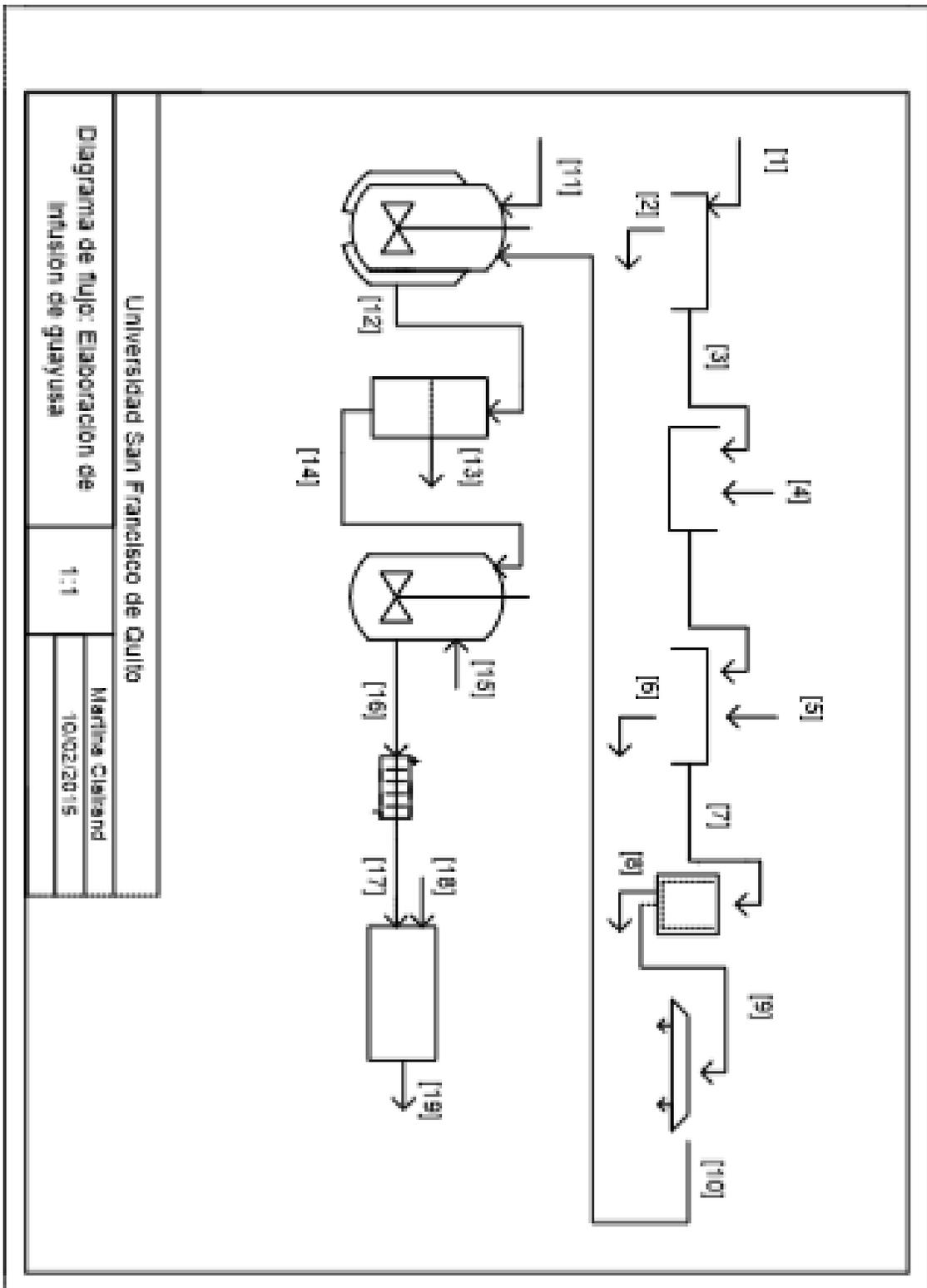


Figura 5.7.1.2 Diagrama de flujo

El layout de la planta se presenta en anexos.

5.7.2 Balance de masa

El balance de masa se basó en la formulación siguiente:

Tabla 5.7.2.1 Formulación para la elaboración de 988g de infusión

	A	%
Agua (g)	950,00	96,15
Guayusa (g)	15,00	1,52
Azúcar (g)	43,40	4,39
Ácido ascórbico (g)	0,08	0,01
Agua remanente de escurrido (g)	4,80	0,49
Total	988,08	100,00
Residuos guayusa hidratados (g)	25,20	2,55

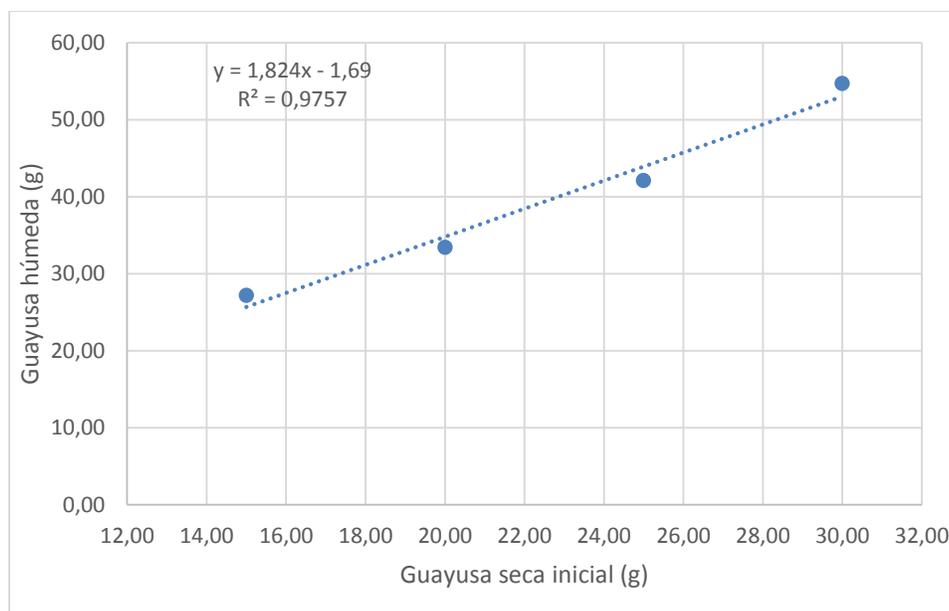
A efectuar las formulaciones A, B, C y D descritas en la sección 6.1.1, se pudo determinar el agua absorbida o remanente en las hojas de guayusa, para cada ensayo, después de las etapas de lavado, escurrido y de filtración. Los pesos de las hojas de guayusa húmedas se describen a continuación:

Lavado

En la tabla a continuación se presenta el agua remanente en las hojas de guayusa después del lavado para los ensayos A, B, C y D.

Tabla 5.7.2.2 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después del lavado

	A	B	C	D
Guayusa (g)	15,00	20,00	25,00	30,00
Guayusa+Agua (g)	27,20	33,40	42,10	54,70



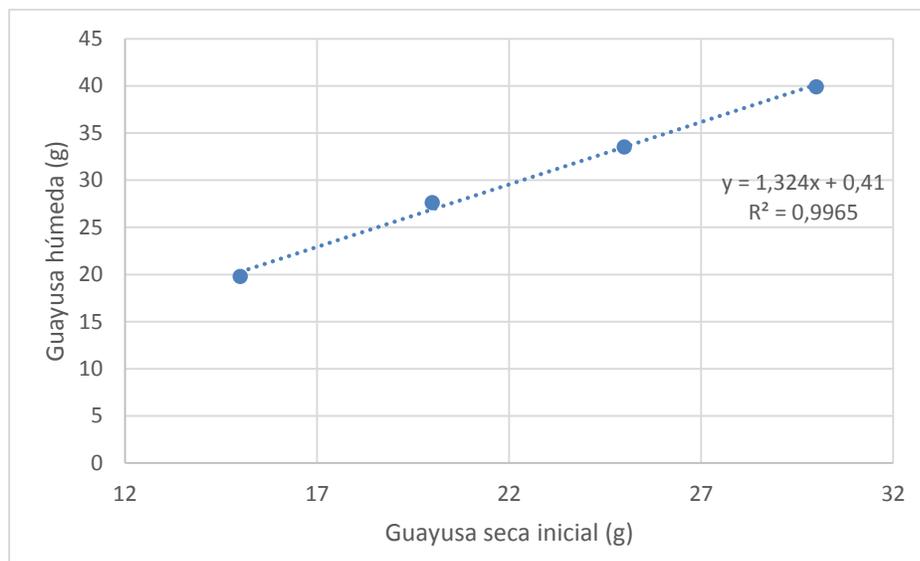
Gráfica 5.7.2.1 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después del lavado

Escurrido

El agua remanente en las hojas después del escurrido en un colador se presenta en la tabla siguiente para los distintos ensayos

Tabla 5.7.2.3 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después del escurrido

	A	B	C	D
Guayusa (g)	15	20	25	30
Guayusa+Agua (g)	19,8	27,6	33,5	39,9



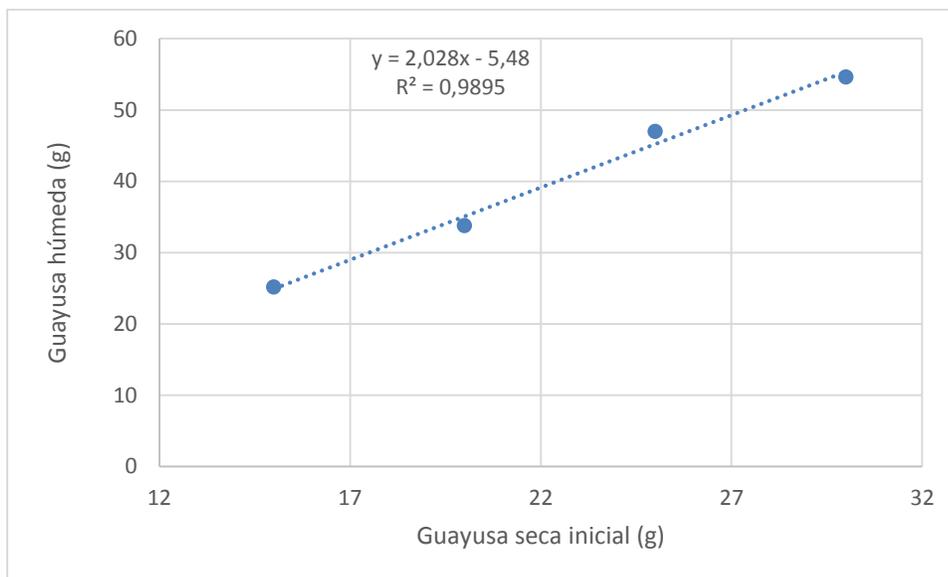
Gráfica 5.7.2.2 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después del escurrido

Filtración

Posterior a la elaboración de la infusión, los residuos de hoja retuvieron las cantidades de agua expresadas a continuación para cada ensayo:

Tabla 5.7.2.4 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después de la filtración

	A	B	C	D
Guayusa (g)	15	20	25	30
Guayusa+Agua (g)	25,2	33,8	47	54,6



Gráfica 5.7.2.3 Variación del agua remanente en las hojas de guayusa después de la filtración

Para las etapas de lavado, escurrido y filtración, se observa una tendencia aparentemente lineal entre el agua remanente en las hojas y el peso inicial de las hojas para la elaboración de la infusión.

En base a estos resultados, fue posible determinar los componentes para la elaboración de 1028L de infusión de guayusa:

Tabla 5.7.2.5 Formulación para la elaboración de 1028 L de infusión

Agua (Kg)	993,59
Guayusa (Kg)	15,69
Azúcar (Kg)	45,39
Ácido ascórbico (Kg)	0,08
Agua remanente de escurrido (L)	5,08
Total (L)	1028,02
Residuos guayusa hidratados (Kg)	31,81

El agua remanente de escurrido, en las hojas de guayusa, resultó ser de 5,08L mientras que los residuos de guayusa hidratados pesarán 31,81Kg. Esta formulación conserva las proporciones consideradas en la tabla 5.7.2.1 (ensayo A).

De este modo, se pudo establecer el siguiente balance por unidad operativa, para obtener 1028L de infusión de guayusa:

Tabla 5.7.2.6 Flujos de entrada y salida por unidad operativa

	Flujo de entrada (kg/h)	Flujos de entrada	Flujo de salida (kg/h)	Flujos de salida
Mesa de inspección	16,315	1	16,315	2,3
Unidad de lavado	1338,621	3,4,5	828,612	6,7
Secador centrífugo	28,612	7	28,612	8,9
Balanza	20,771	9	20,771	10
Tanque de infusión	1014,340	10,11	1014,340	12
Filtro colador	1014,340	12	1014,340	13,14
Tanque mezclador	1028,000	14,15	1028,000	16
Pasteurizador	1028,000	16	1028,000	17
Unidad de embotellado y etiquetado	1492,000	17,18	1028,000	19

Tabla 5.7.2.7 Descripción de los flujos

Flujos	Cantidad Kg/h	Componente sólido	Cantidad L/h	Componente líquido
1	16,315	Hojas de guayusa	-	-
2	0,628	Hojas dañadas	-	-
3	15,688	Hojas de guayusa	-	-
4	0,003	Hipoclorito de sodio	522,931	Agua
5	-	-	800,000	Agua
6	-	-	800,000	Agua
7	15,688	Hojas de guayusa	12,924	Agua
8	-	-	7,841	Agua
9	15,688	Hojas de guayusa	5,083	Agua
10	15,688	Hojas de guayusa	5,083	Agua
11	-	-	993,569	Agua
12	31,810	Residuos de guayusa hidratados	982,530	Infusión
13	31,810	Residuos de guayusa hidratados	-	-
14	-	-	982,530	Infusión
15	0,079	Ácido ascórbico	-	-
	45,390	Azúcar	-	-
16	-	-	1028,000	Infusión terminada
17	-	-	1028,000	Infusión terminada
18	-	-	464,000	Agua
19	-	-	1028,000	Infusión embotellada

En total, se producen 2569 botellas de 400 mL por cada hora trabajada.

5.7.3 Balance de energía

Calentamiento del agua de infusión

Para el proceso de calentamiento del agua potable para la elaboración de la infusión, se pretende elevar la temperatura desde 18,3°C (temperatura promedio de Quito) hasta 90°C. Para este propósito, se hará pasar vapor a través de una chaqueta que cubrirá el tanque.

Asumiendo un sistema isotérmico para el vapor dentro de la chaqueta, el balance de energía para este proceso, está dado por las siguientes ecuaciones:

$$\frac{dQ}{dt} = m_{tanque} \cdot C_{ptanque} \frac{dT_{tanque}}{dt} \quad (5.7.3.1)$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T = U \cdot A \cdot (T_{chaqueta} - T_{tanque}) \quad (5.7.3.2)$$

En donde Q es el calor transferido al agua, dentro del tanque, que se pretende calentar, m_{tanque} es la masa del agua dentro del tanque, $C_{ptanque}$ es la capacidad calorífica del agua, ΔT es la diferencia de temperatura entre el tanque y la chaqueta, U es el coeficiente global de transferencia de calor, t es el tiempo que durará el calentamiento, A el área de transferencia de calor.

Se obtiene entonces:

$$m_{tanque} \cdot C_{ptanque} \frac{dT_{tanque}}{dt} = U \cdot A \cdot (T_{chaqueta} - T_{tanque}) \quad (5.7.3.3)$$

$$\int \frac{dT_{tanque}}{T_{chaqueta} - T_{tanque}} = \int \frac{U \cdot A}{m_{tanque} \cdot C_{ptanque}} dt \quad (5.7.3.4)$$

$$\ln \left(\frac{T - t_1}{T - t_2} \right) = \frac{U \cdot A}{m_{tanque} \cdot C_{ptanque}} \cdot t \quad (5.7.3.5)$$

En dónde t_1 y t_2 son las temperaturas inicial y final del agua dentro del tanque, respectivamente, y T es la temperatura del vapor dentro de la chaqueta.

La ecuación se simplifica en:

$$t = \frac{m_{tanque} \cdot C_{ptanque}}{U \cdot A} \ln \left(\frac{T - t_1}{T - t_2} \right) \quad (5.7.3.6)$$

Se consideran los siguientes parámetros de diseño del tanque enchaquetado:

Tabla 5.7.3.1 Especificaciones del tanque enchaquetado

Parámetro	Fórmula	Valor
Alto del tanque(m)	H	1,50
Diámetro del tanque (m)	D	0,97
Volumen del tanque (m^3)	$V = \pi \cdot \frac{D^2}{4} \cdot H$	1,10
Alto de la chaqueta (m)	L	1,30
Diámetro de la chaqueta (m)	D_c	1,09
Volumen interno de la chaqueta (m^3)	$V_i = \pi \cdot \frac{L}{4} (D_c^2 - D^2)$	0,25
Área de transferencia (m^2)	$A = \pi \cdot D \cdot L$	3,95

Así mismo, se establecen los siguientes parámetros para la resolución del balance de energía:

Tabla 5.7.3.2 Parámetros de intercambio para el calentamiento del agua de infusión

U acero inox $\left(\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot F}\right) // \left(\frac{KJ}{hr \cdot m^2 \cdot K}\right)$	120,00	2448,00
$A(m^2)$	3,95	-
$T(^{\circ}F) // (^{\circ}C)$	248,00	120,00
$t_1 (^{\circ}F) // (^{\circ}C)$	64,90	18,33
$t_2 (^{\circ}F) // (^{\circ}C)$	194,00	90,00
$\ln\left(\frac{T - t_1}{T - t_2}\right)$	1,22	-

En base a estos datos, es posible determinar el calor necesario para el calentamiento del agua dentro del tanque:

Tabla 5.7.3.3 Cálculo de la energía requerida para el calentamiento del agua

	$m(Kg/h)$	C_p a $90^{\circ}C$ ($KJ/K \cdot Kg$)	mC_p ($KJ/K \cdot h$)	$Q = mC_p\Delta T$ (KJ/h)	$Q(BTU/h)$
Agua	993,57	4,18	4153,12	297641,44	282109,65

La energía requerida para el calentamiento es de aproximadamente 282110 *BTU/hr*.

Adicionalmente, a partir de la ecuación 5.7.3.6 y de los datos en la tabla 5.7.3.2 es posible establecer el tiempo necesario para calentar el agua dentro del tanque a 90°C:

Tabla 5.7.3.4 Cálculo del tiempo de calentamiento del agua del tanque

<i>m</i> (Kg)	<i>Cp</i> a 90°C (KJ/K.Kg)	<i>t</i> (hr)
993,57	4,18	0,53

El calentamiento del agua dentro del tanque se lleva a cabo en aproximadamente 32 minutos.

Para conocer la cantidad de vapor necesaria, que circulará en la chaqueta, para calentar el agua de infusión, se emplea la ecuación a continuación:

$$m_v = \frac{Q}{h_e} \quad (5.7.3.7)$$

En donde m_v es la masa de vapor requerida, Q es el calor transferido, y h_e es la energía de evaporación de vapor. A una temperatura de 120°C le corresponde una energía de evaporación de vapor de 2200 *KJ/Kg* (Engineering ToolBox, 2015).

Por ende, el requerimiento de vapor en la chaqueta es el siguiente:

$$m_v = \frac{297641,44 \frac{KJ}{h}}{2200 \frac{KJ}{Kg}} = 135,29 \frac{Kg}{h}$$

Pasteurización

Para el proceso de pasteurización de la infusión de guayusa se empleará intercambiadores de doble tubo. Este tipo de intercambiadores son de fácil mantenimiento, construcción sencilla. Así mismo, el tubo interior está corrugado, garantizando una mayor área de transferencia. Por otro

lado este intercambiador permite una conformación en contracorriente ideal, optimizando la transferencia de calor, y simplificando el diseño general. Debido al grosor importante del tubo interno que puede ser seleccionado para este tipo de intercambiadores, se disminuyen los riesgos de obstrucción al trabajar con fluidos con residuos sólidos. La limpieza del tubo interno es sencilla, evitando así su ensuciamiento. Debido a su sencillez, la mayor ventaja de este tipo de intercambiador, es el aspecto económico. (Rodríguez, 2005)

Área de transferencia de calor

En este caso, el diseño del intercambiador se describe por las ecuaciones 5.7.3.8 y 5.7.3.9 presentadas a continuación:

$$Q = mC_p\Delta T \quad (5.7.3.8)$$

$$Q = UA\Delta T_{ml} \quad (5.7.3.9)$$

En donde Q es el calor transferido al fluido que se pretende calentar, en nuestro caso la infusión, m es el flujo másico que atraviesa el intercambiador, C_p es la capacidad calorífica del fluido, ΔT es el cambio de temperatura del fluido, U es el coeficiente global de transferencia de calor y ΔT_{ml} es la diferencia de temperatura media logarítmica que está dado por la ecuación 5.7.3.10 para un sistema en contracorriente.

$$\Delta T_{ml} = \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{(T_1 - t_2)}{(T_2 - t_1)}\right)} \quad (5.7.3.10)$$

En dónde T_1 es la temperatura de la corriente de entrada caliente, T_2 es la temperatura de la corriente de salida caliente, t_1 es la temperatura de la entrada fría y t_2 es la temperatura de salida fría como se describe en las figuras 5.7.3.1 y 5.7.3.2.

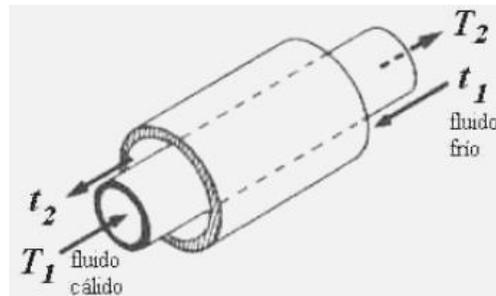


Figura 5.7.3.1 Sistema de intercambio de calor

Recuperado de (Rodríguez, 2005)

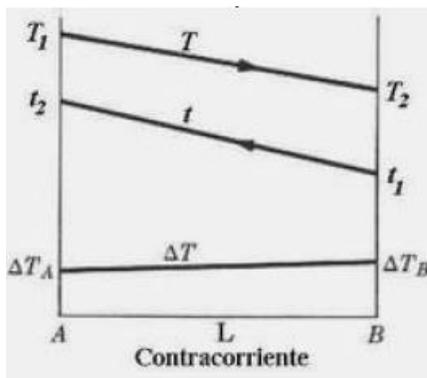


Figura 5.7.3.2 Variación de temperatura de fluidos en un intercambiador de calor

Recuperado de (Rodríguez, 2005)

Se observa que el fluido caliente a una temperatura T_1 entrega parte de su energía calórica al fluido frío de temperatura t_1 que se quiere calentar hasta una temperatura t_2 . Como consecuencia el fluido caliente disminuye su temperatura hasta T_2 .

Combinando las ecuaciones anteriores se puede establecer la relación que describe el área de transferencia del intercambiador.

$$A = \frac{mC_p\Delta T}{U \cdot \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln\left(\frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}\right)}} \quad (5.7.3.11)$$

Asumiendo que la superficie de intercambio de vapor, acero inoxidable, infusión de guayusa es asimilable a una superficie de intercambio de vapor, acero inoxidable, agua, se estima que el coeficiente global de transferencia de calor es de $120 \frac{BTU}{ft^2 \cdot h \cdot ^\circ F}$ (The Engineering ToolBox).

Para la pasteurización de la infusión se emplearon los parámetros especificados en la tabla siguiente:

Tabla 5.7.3.5 Parámetros de intercambio para la pasteurización de la infusión

$U \text{ acero inox}$ $\left(\frac{Btu}{hr \cdot ft^2 \cdot F}\right) // \left(\frac{KJ}{hr \cdot m^2 \cdot K}\right)$	120	2448,00
$T_f - T_i (K)$	22	-
$T_f - T_i (^\circ F)$	39	-
$T_1 (^\circ F) // (^\circ C)$	248	120
$T_2 (^\circ F) // (^\circ C)$	185	85
$t_1 (^\circ F) // (^\circ C)$	155	68
$t_2 (^\circ F) // (^\circ C)$	194	90
$\Delta T_{ml} (^\circ F)$	40,83	-

El área de transferencia calculada para la pasteurización de la infusión se describe en la siguiente tabla:

Tabla 5.7.3.6 Cálculo del área de transferencia de calor para la pasteurización de la infusión

	m (Kg/h)	$C_p \text{ a } 90^\circ C$ (KJ/K.Kg)	mC_p (KJ/K.h)	$Q = mC_p \Delta T$ (KJ/h)	Q (BTU/h)	$A = \frac{Q}{U \Delta T_{ml}}$ (ft ²)	A (m ²)
Azúcar	45,39	1,26	4164,32	91615,06	86834,32	17,72	1,65
Agua	982,61	4,18					

En función de estos resultados, y de la tabla 5.10.4, es posible calcular la cantidad de vapor necesario para el intercambio de calor en el intercambiador:

$$m_v = \frac{Q}{h_e} \quad (5.7.3.12)$$

$$m_v = \frac{91615,06 \frac{KJ}{h}}{2249 \frac{KJ}{Kg}} = 40,74 \frac{Kg}{h}$$

Longitud y volumen del tubo

La transferencia de calor ocurre al interior de un tubo de diámetro interno igual a 10 cm.

Considerando este aspecto, la longitud del tubo está dada por:

$$L = \frac{A_T}{\pi D} \quad (5.7.3.13)$$

$$L = \frac{1,65}{\pi \times 0,1} = 5,25 \text{ m}$$

En dónde A_T es el área de transferencia de calor, y D el diámetro interno del tubo. La longitud total del tubo será entonces de 5,25m. Adicionalmente, el volumen interno del tubo está dado según:

$$V = \pi \times \frac{D^2}{4} \times L \quad (5.7.3.14)$$

$$V = \pi \times \frac{0,1^2}{4} \times 5,25 = 0,041 \text{ m}^3$$

El volumen del tubo es de 41L aproximadamente.

Asumiendo que vamos a repartir la longitud del tubo en 3 secciones verticales y 2 horizontales, de manera similar a lo descrito en la figura 5.7.3.3 , se puede estimar la longitud L_s de cada sección:

$$L_s = \frac{L}{6} = \frac{5,25}{6} = 0,88m$$

Así mismo, la altura del intercambiador, asumiendo una distancia vertical de 25cm entre cada tubo (incluida la carcasa por donde circula el vapor) y una distancia inicial de 30cm desde el suelo hasta el primer tubo; se puede aproximar de la siguiente manera:

$$H = 0,3 + 3(0,25 + 0,1) = 1,35m$$



Figura 5.7.3.3 Intercambiador de calor de doble tubo

Recuperado de <http://cdn.hrs-he.com/en/resources/downloads/hrs-dta-series.pdf>

Por otro lado, la tercera dimensión del intercambiador se puede aproximar, considerando una separación horizontal de 25 cm entre cada tubo y 15 cm adicionales a cada lado de los tubos para la estructura que carga el intercambiador:

$$l = 2 \times 0,15 + 2 \times 0,1 + 0,25 = 0,75m$$

Resumiendo lo anterior, se presenta en la siguiente tabla las dimensiones aproximadas del intercambiador de doble tubo:

Tabla 5.7.3.7 Dimensiones aproximadas del intercambiador de doble tubo

Largo (m)	0,88
Ancho (m)	0,75
Alto (m)	1,35

5.8 Diseño de la cámara de refrigeración

La cámara de refrigeración almacenará la producción de infusión de 1 día, es decir 20552 botellas. Primeramente, se determina las dimensiones aproximadas de cada botellas:

Tabla 5.8.1 Dimensiones aproximadas de una botella de 400mL

Diámetro (m)	0,06
Alto del cuerpo (m)	0,15
Alto de la tapa (m)	0,025
Altura total botella(m)	0,175

Así mismo, se establece que las botellas serán empaquetadas en cajas de cartón que cumplen con las siguientes especificaciones:

Tabla 5.8.2 Especificaciones de las cajas y posicionamiento de botellas

Distancia entre botellas (m)	0,0025
Botellas por caja	40,00
Largo(m):	0,51
Ancho(m):	0,32
Alto(m):	0,20
Volumen caja (m3):	0,033
Total cajas almacenadas/día	513,80
Volumen total cajas(m3)	16,96

Por otro lado, se pretende posicionar las cajas en estantes de 5cm de espesor y 50cm de distancia entre estantes, como se muestra en los dibujos a continuación:

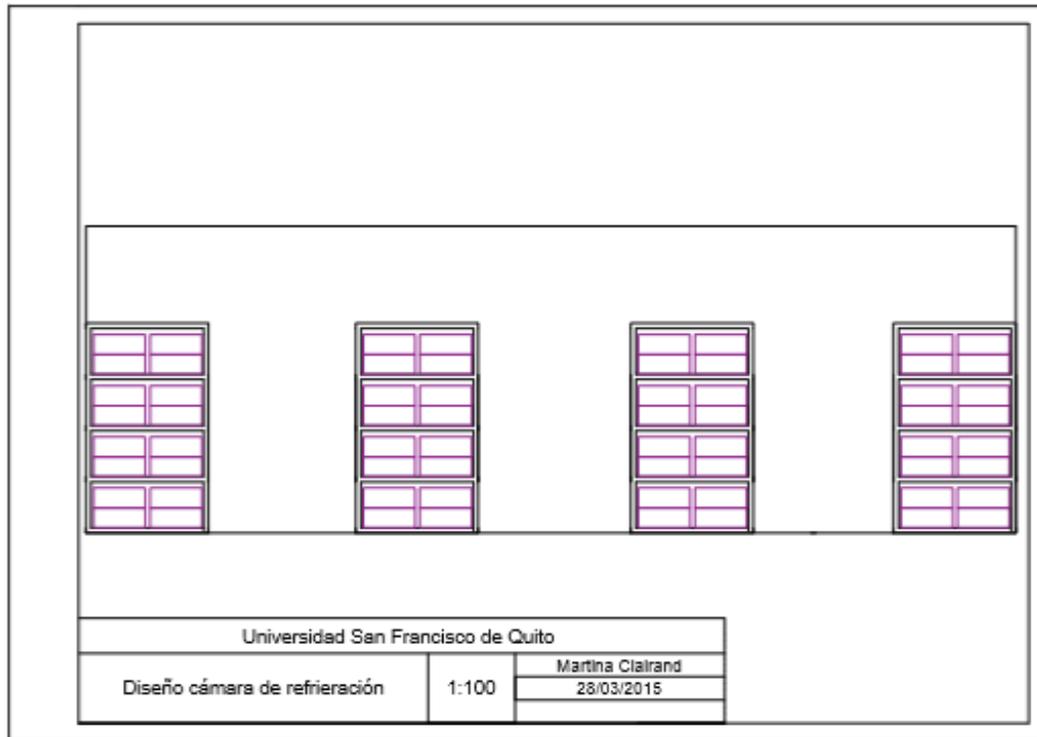


Figura 5.8.1 Vista lateral de la cámara de refrigeración

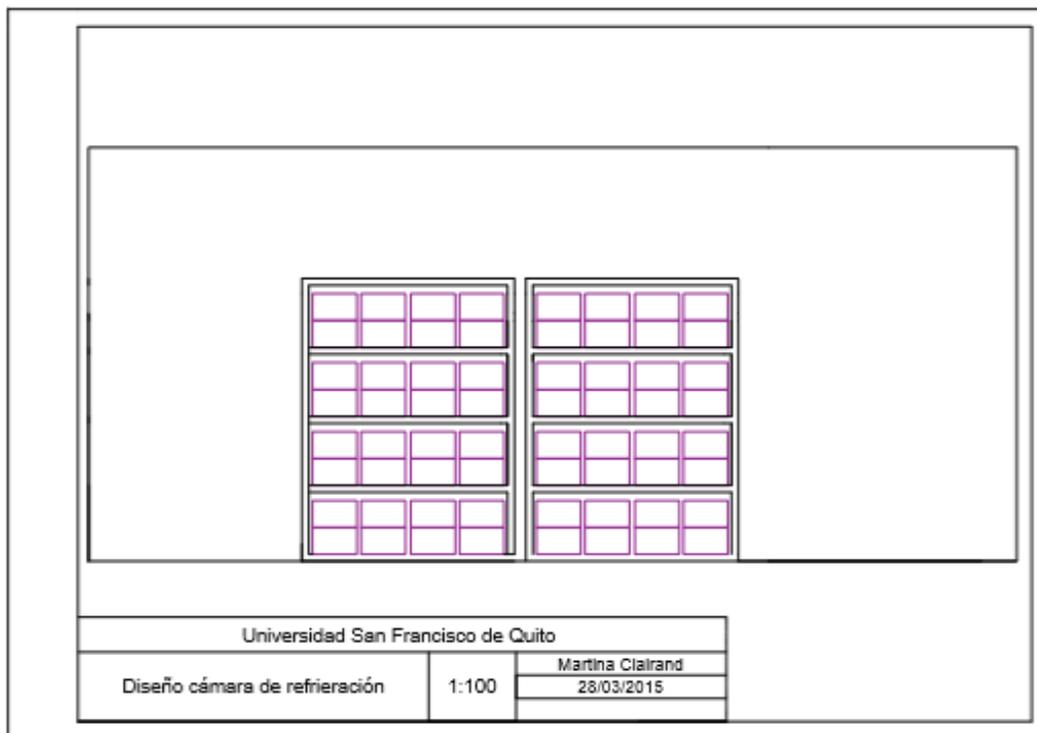


Figura 5.8.2 Vista lateral de la cámara de refrigeración

Para poder ubicar todas las cajas en la configuración anteriormente descrita y permitir la circulación del montacargas, se establece las siguientes dimensiones para la cámara de refrigeración:

Tabla 5.8.3 Dimensiones de la cámara de refrigeración

Largo(m):	9,26
Ancho(m):	6,82
Alto(m):	3,15

Por otro lado, para el diseño de la cámara de refrigeración, es necesario considerar tanto las pérdidas por paredes, las pérdidas generales, y las pérdidas por intercambio de aire. Para proceder al cálculo de las pérdidas se considera los parámetros descritos en la siguiente tabla:

Tabla 5.8.4 Parámetros de diseño

Temperatura ($^{\circ}F//^{\circ}C$)	Ambiente	65,00	18,33
	Cámara	39,20	4,00
Dimensiones externas de la cámara ($ft//m$)	Largo	30,36	9,26
	Ancho	22,36	6,82
	Alto	10,33	3,15
Dimensiones internas de la cámara ($ft//m$)	Largo	29,87	9,11
	Ancho	21,87	6,67
	Alto	9,84	3,00
Material de aislamiento	6 pulgadas de espuma de poliuretano		
Factor de resistencia del aislante ($BTU.in/(h.ft^2.^{\circ}F)$)	0,13		
Producto almacenado	Botellas PET de infusión de guayusa		
Cantidad de producto (L/h)	1028		
Personas que entran/h	1		
Luces (W)	100		
Carga motores (KW)	1,6		
Humedad relativa de Quito %	84		
Velocidad aire intercambio (m/s)	1		

Se consideran las siguientes ecuaciones respectivas para el cálculo de pérdidas por paredes y por intercambio de aire:

$$Q_{paredes} = A \cdot k \cdot \Delta T \quad (5.8.1)$$

$$Q_{aire} = \frac{A_p}{2} v \rho_s (h_e - h_s) \quad (5.8.2)$$

En dónde A es el área de las paredes, k es el factor de resistencia del poliuretano descrito en la tabla 5.8.4, ΔT la diferencia de temperatura entre el ambiente y la cámara, A_p el área de las puertas, v la velocidad del aire de intercambio, ρ_s la densidad del aire.

Según la carta psicrométrica para una temperatura del aire de 4°C y 84% de humedad relativa, se obtiene una entalpía $h_s = 14 \text{ KJ/Kg}$.

A su vez, a una temperatura externa del aire de 18,3°C con 84% humedad relativa, le corresponde una entalpía $h_e = 45 \text{ KJ/Kg}$.

De este modo, se puede establecer el cálculo de las pérdidas descrito en la siguiente tabla:

Tabla 5.8.5 Cálculo de pérdidas de calor

Pérdidas en paredes				
	Área (ft^2)	Temperatura ($^{\circ}F$)	F. resistencia $BTU/(día. ft^2. ^{\circ}F)$	Energía ($BTU/día$)
Área piso	678,88	25,80	0,52	9.107,91
Área techo	678,88	25,80	0,52	9.107,91
Área pared 1	230,94	25,80	0,52	3.098,26
Área pared 2	230,94	25,80	0,52	3.098,26
Área pared 3	313,56	25,80	0,52	4.206,73
Área pared 4	313,56	25,80	0,52	4.206,73
Total	32.825,81			
Pérdidas generales				
	Energía (W)	Horas/día	Energía (BTU/día)	
Montacargas	1600	3	16.368,00	
LUCES	100	3	1.023,00	
Personas	350	3	3.580,50	
Total			20.971,50	
Pérdidas por aire				
Área puertas (m^2)	Densidad del aire a $4^{\circ}C$ (Kg/m^3)	Δh (KJ/Kg)	Horas/día	Energía ($BTU/día$)
5,88	1,274	31	1	418.004,50
Suma final				471.801,81
Seguridad (10% del final)				47.180,18
Total general				518.981,99

El compresor y el evaporador se seleccionan con el objetivo de satisfacer esta demanda energética.

5.9 Especificación de los equipos

Se consideró los siguientes equipos para la elaboración de la infusión de guayusa:

Tabla 5.9.1 Equipos para la elaboración de la infusión

Equipo/Accesorio	Cantidad	Descripción	Dimensiones (m)	Capacidad	Requerimientos energéticos (KW)	Foto
Mesa de selección	1	Modelo: Kingler's Trading Inc ,BSG 30*84 Material: Acero galvanizado	Largo:2,13 Ancho:0,76 Alto:0,92	Superficie:1,62 m ²	-	
Tanque de lavado	2	Modelo: Cole Parmer JZ-06323-51 Material:HPDE	Largo:0,91 Ancho:0,61 Alto:0,61	227 L	-	
Mesa de lavado y escurrido	1	Modelo: ASERAGRO MSL-15.10.9 Material: Acero inoxidable AISI 304	Largo:1,5 Ancho:1 Alto:0,90	Superficie:1,5m ²	-	
Secador centrífugo	1	Modelo: World Cuisine A4988820	Largo:0,46 Ancho:0,46 Alto:0,46	20 L	-	
Balanza	1	Modelo: Salter WS60	Largo: 0,38 Ancho:0,3	60 Kg	0,008	
Tanque enchaquetado de extracción	1		Diámetro: 1,12 Altura: 1,85	1100L	0,9	
Filtro colador	1	Modelo: Sure Flow Equipment Ink 1000 BW150SS Material: Acero inoxidable 316	Alto:0,91 Diámetro: 0,51 Altura de ingreso del rproducto:0,58	Volumen canasta: 29,6L	-	
Tanque mezclador con agitador	1	Material: Acero inoxidable Velocidad de agitación:36rpm	Diámetro: 1 Altura: 1,85	1100L	0,9	

Enjuagadora de botellas	1	Modelo: Brother's Farmamach BOTTLEWASH-60	Largo:1,250 Ancho:1,225 Altura:1,425	2600bph	1,23	
Llenadora	1	Modelo: Brother's Farmamach LIQFILL-80 Válvulas de llenado:4 Altura de la banda:0,825m	Largo:1,83 Ancho:0,8 Altura:1,55	2600bph	1,5	
Taponadora	1	Modelo: TotalPacks CP-100A	Largo:2,4 Ancho:1 Altura:1,9	2600bph	0,8	
Etiquetadora	1	Modelo: Easy LM-150CM	Largo:0,65 Ancho:0,34 Altura:0,52	2600bph	0,12	

Tabla 5.9.2 Equipos de calentamiento y enfriamiento

Equipo	Cantidad	Descripción	Dimensiones (m)	Capacidad	Requerimientos energéticos (KW)	Foto
Pasteurizador	1	Modelo: HRS DTA129/104 Material: acero inoxidable 316 Conexiones de entrada y salida de 4"	Largo:0,88 Ancho:0,75 Altura:1,35	Área de transferencia: 1,65m ²	-	
Caldera	1	Modelo: Bryan electric 120BH	Largo:1,52 Ancho:1,5 Altura:1,55	108,12 de 118 KW	110 de 120	
Compresor	1	Modelo: R404A Maneurop MT057-4 1,8 L aceite de alkyl-benceno de lubricante ya incorporado en el equipo	Diámetro:0,29 Alto:0,41	21974 BTU/h	3,2	

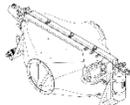
Evaporador	1	Modelo: Enviro 1133420-CAT	Largo:0,81 Ancho:0,40 Altura:0,25	25000 BTU/h	0,434	
-------------------	---	----------------------------	---	-------------	-------	---

Tabla 5.9.3 Bombas

Equipo	Cantidad	Descripción	Dimensiones (m)	Capacidad	Requerimientos energéticos (KW)	Foto
Bomba (I2)	1	Modelo: Shurflo SHU 105-013	Largo:0,17 Ancho:0,10 Altura:0,062	249 L/h	0,03	
Bomba (I1,I5,I6,I7,I8)	5	Modelo: Jabsco 82600 0094	Largo:0,27 Ancho:0,11 Altura:0,11	1363 L/h	0,204	
Bomba (I3,I4)	2	Modelo: WFCO PDS1-130-1240E	Largo:0,19 Ancho:0,11 Altura:0,11	681,4 L/h	0,084	

Para estimar el precio de los equipos se empleó el método descrito por Randall y Whitesides, 2012. La regla de las seis décimas establece el costo de equipos aproximado con una variación de 20% del valor real. Esta regla establece la relación siguiente:

$$C_B = C_A \left(\frac{S_B}{S_A} \right)^{0,6} \quad (5.9.1)$$

En dónde C_B es el costo aproximado del equipo de capacidad S_B mientras que C_A es el costo conocido del equipo de capacidad S_A . El factor de escala está dado por $\left(\frac{S_B}{S_A} \right)$. (Randall & Whitesides, 2012).

Si se quiere más precisión en el escalamiento, Guthrie, 1969 propuso un método todavía vigente en la actualidad, en donde se emplea exponentes específicos según el equipo para calcular su precio. La nueva ecuación establece:

$$C_B = C_A \left(\frac{S_B}{S_A} \right)^N \quad (5.9.2)$$

Dónde N es el exponente de escalamiento.

Para aproximar con mayor precisión el precio de los equipos, es necesario considerar la variación de su costo en el tiempo. Para este propósito, se emplean los índices de costos que relacionan de la siguiente manera los precios antiguos y recientes de los equipos:

$$C = C_0 \left(\frac{I}{I_0} \right) \quad (5.9.3)$$

En donde C es el costo actual en dólares, C_0 es el costo antiguo, I , es el índice actual, y I_0 es el índice antiguo. El índice que se empleará en nuestro caso es el Chemical Engineering Plant Cost Index (CEPCI). Los datos de los precios de los equipos se describen en anexos.

5.10 Requerimientos en energía eléctrica por equipo

Los siguientes equipos necesitan ser alimentados con energía eléctrica con las respectivas potencias:

Tabla 5.10.1 Requerimientos de energía eléctrica

Equipo	Requerimientos energéticos (KW)
Balanza	0,01
Tanque enchaquetado de extracción	0,90
Tanque mezclador con agitador	0,90
Enjuagadora de botellas	1,23
Llenadora	1,50
Taponadora	0,80
Etiquetadora	0,12
Caldera	110,00
Compresor	3,20
Evaporador	0,43
2 Bomba jet (I3,I8)	0,08
5 Bomba (I1,I5,I6,I7,I8)	0,20
Bomba (I2)	0,03
Alumbrado	1,00
Suma	121,31

5.11 Diseño de tuberías

Para proceder al diseño de las tuberías de agua se emplea la ecuación de Hazem Williams que permite calcular la pérdida de carga debida a la fricción dentro de una tubería:

$$J = 0,2083 \left(\frac{100}{C} \right)^{1,852} \frac{Q^{1,852}}{d^{4,8655}} \quad (5.11.1)$$

En donde J es la pérdida de carga en ft debido a la fricción por $100ft$ de tubería, C es la constante de rugosidad de Hazen-Williams, Q es el flujo volumétrico en GPM, d es el diámetro interior de la tubería en pulgadas.

Mientras tanto, la velocidad de fluido dentro de la tubería está dada por la ecuación de Manning descrita a continuación:

$$v = 0,408709 \frac{Q}{d^2} \quad (5.11.2)$$

En donde, v es el flujo en ft/s , Q es el caudal en GPM y d es el diámetro interno de la tubería en pulgadas. El rango de velocidad común para tuberías con diámetros menores a 3 pulgadas está comprendido entre 1,31 ft/s y 6,56 ft/s , mientras que los valores del coeficiente de pérdidas J no deben superar 0,1 ft/ft de tubería.

Los valores correspondientes a las longitudes equivalentes de tubería por accesorio se basaron en (Garavito, 1982).

A su vez, para el diseño de tuberías de vapor, se escoge una tubería de acero de cédula 40.

Las dimensiones así como las características de las tuberías se describen en anexos.

5.12 Requerimientos totales de agua y vapor

Basándose en el balance de energía de la sección 5.7.3, es posible conocer el calor transmitido por el vapor al fluido frío, así como la energía de vaporización a determinadas temperaturas. En función de los datos de las tablas 5.7.3.3 y 5.7.3.5, así como de la ecuación 5.7.3.7; se determina la cantidad de vapor necesaria para efectuar el calentamiento del agua dentro del tanque de infusión y la pasteurización. Los resultados del vapor requerido se describen en la siguiente tabla:

Tabla 5.12.1 Cálculo de requerimientos de vapor

	Q (KJ/h)	$T_{promedio}$ ($^{\circ}C$)	h_e (KJ/Kg)	$m = \frac{Q}{h_e}$ (Kg/h)
Calentamiento agua	297641,44	120,00	2200,00	135,29
Pasteurización	91615,06	102,50	2249,00	40,74
Total				176,03

A su vez, basándose en los balances de masa y energía y en los requerimientos de agua de los equipos, es posible determinar el flujo total de agua para alimentar todo el proceso como se muestra a continuación:

Tabla 5.12.2 Requerimientos de agua

	Cantidad	Unidad
Unidad Lavado	1322,93	[L/h]
Elaboración infusión	993,57	[L/h]
Enjuagadora de botellas	464,00	[L/h]
Total	2780,50	[L/h]

5.13 Requerimientos de materias complementarias

Adicionalmente a las materias primas empleadas en la elaboración de la infusión, se consideran los siguientes materiales y compuestos

Tabla 5.13.1 Materias complementarias

	Cantidad	Unidad
Botellas	2569	1/h
Etiquetas	2569	1/h
Tapas	2569	1/h
Hipoclorito de sodio	2,61E-03	kg/h

5.14 Requerimientos de personal

La cantidad de empleados solicitada en cada unidad operativa se recoge en la tabla a continuación:

Tabla 5.14.1 Requerimiento de personal por unidad operativa

Unidad operativa	Número de empleados
Mesa de selección	2
Tanques de lavado	1
Mesa de Enjuague	2
Secador centrífugo	1
Balanza/tanque enchaquetado de extracción	1
Balanza/Tanque mezclador	1
Enjuagadora de botellas	1
Llenadora	1
Taponadora	1
Mesa de etiquetado	2
Mesa de empaque	2
Total	15

5.15 Análisis económico

Para analizar la factibilidad de la planta de producción de infusión energizante de guayusa se establecen los los costos y ingresos fijos y variables descritos en las siguientes tablas:

Tabla 5.15.1 Inversión fija

Terreno y construcciones			
	Cantidad (m2)	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
Terreno			
Terreno	553,52	90,00	49.816,80
Construcciones			
Fábrica y bodegas	216,00	500,00	108.000,00
Exteriores	233,50	50,00	11.675,00
Oficinas, vestidores y baños	95,37	450,00	42.916,50
Guardianía y cerramiento	202,33	200,00	40.466,00
Total	0,00	0,00	252.874,30
Maquinaria y Equipo			
			Costo (\$)
Equipo de Producción (Importado y nacional)			79.214,00
Equipo Auxiliar			48.974,09
Gastos de Instalación y Montaje			20.000,00
Instalación instrumentación y control			20.000,00
Total			168.188,09
Otros activos			
			Costo (\$)
Equipos y muebles de oficina			4.010,00
Constitución de la sociedad			5.000,00
Material y suministros de enfermería			5.000,00
Equipos de computación			4.000,00
Stock de repuestos 1% del costo total de equipos			792,14
Otros equipos			10.000,00
Imprevistos 5% del precio de terrenos y construcciones+ precio de maquinaria y equipos			21.053,12
Total			49.855,26

Tabla 5.15.2 Resumen inversión fija

Resuman Inversión fija		
	Costo (\$)	%
Terrenos y construcciones	252.874,30	51,14
Maquinaria y equipos	168.188,09	34,01
Otros activos	49.855,26	10,08
Suma	470.917,65	95,24
Imprevistos de la inversión fija 5 %	23.545,88	4,76
Total	494.463,53	100,00

Para el abastecimiento de las hojas de guayusa la Fundación Chankuap ha hecho estudios económicos calculando el precio de las hojas de guayusa, para que pueda generar ingresos para los productores. Considerando los costos de cosecha, comercialización, monitoreo, los gastos administrativos y en estudios, se ha podido establecer un precio promedio de 0,33\$ el kg de hojas de guayusa (Fundación Chankuap, 2013). Al no tener desarrollado un proyecto de cosecha de hoja de guayusa se designará a dos empleados calificados para trabajar con productores en el desarrollo de procesos productivos para poder abastecer los requerimientos de guayusa para la elaboración de la infusión. Estas consideraciones se observan en la tabla a continuación.

Tabla 5.15.3 Costos de producción

Costos de producción de materiales directos			
	Cantidad (Kg)	Costo Unitario (\$)	Costo total (\$)
Hoja de Guayusa	46.987,20	0,33	15.505,78
Agua	2.861.481,60	7,20E-04	2.060,27
Azúcar	130.752,00	0,44	57.530,88
Ácido ascórbico	227,52	11,00	2.502,72
Total			77.599,64
Costos de producción de mano de obra directa			
	Cantidad	Sueldo Mensual (\$)	Total Anual (\$)
Calificados	2	2.100,00	50.400,00
Semi-calificados	2	1.200,00	28.800,00

No calificados	15	354,00	63.720,00
Suma			142.920,00
Cargas sociales %		37,54	53.651,40
TOTAL			196.571,40
Costos de producción de mano de obra indirecta			
	N°	Sueldo Mensual (\$)	Total Anual (\$)
Guardia/Conserje	3	400,00	14400,00
Choferes	1	450,00	5400,00
Responsable de limpieza	1	400,00	4800,00
Supervisor	1	1200,00	14400,00
Ingeniero de Planta	1	2100,00	25200,00
Suma			64200,00
Cargas sociales %	37,0		23757,24
Total			87957,24
Costos de materiales indirectos			
	Cantidad	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
	0		
Limpieza	1,00	15.000,00	15.000,00
Botellas PET	7.398.720,00	0,18	1.331.769,60
Etiquetas	7.398.720,00	0,10	739.872,00
Hipoclorito de sodio (kg/año)	7,52	130,00	977,18
Total			2.087.618,78
Costos de suministros			
	Cantidad	Valor Unitario (\$)	Valor Total (\$)
	0		
Energía eléctrica (Kw-h)	349.372,80	0,09	31.443,55
Agua (m3)	8.007.840,00	7,20E-04	5.765,64
Vapor (kg/h)	506.966,40	7,20E-04	365,02
Total			37.574,21
Costos de reparación y mantenimiento			
	%	Costo (\$)	Valor Total (\$)
Maquinaria y equipo	2,00	168.188,09	3.363,76
Edificios y Construcciones	2,00	252.874,30	5.057,49
Total		0	8.421,25
Costos de seguros			
	%	Costo (\$)	Valor Total (\$)
Maquinaria y equipo	1,00	168.188,09	1.681,88
Edificios y Construcciones	1,00	252.874,30	2.528,74
Total		0	4.210,62
Costos en imprevistos de la carga fabril			

		Valor Total (\$)
Aprox. 3% de todos los rubros anteriores		66.773,46
Total general carga fabril		2.292.555,57

Tabla 5.15.4 Resumen costos de producción

Resumen costos de producción		
	Costo (\$)	%
Materiales directos	77.599,64	3,02
Mano de obra directa	196.571,40	7,66
Carga fabril		
Mano de obra indirecta	87.957,24	3,43
Materiales indirectos	2.087.618,78	81,33
Suministros	37.574,21	1,46
Reparación y mantenimiento	8.421,25	0,33
Seguros	4.210,62	0,16
Imprevistos	66.773,46	2,60
Total	2.566.726,62	100,00

Tabla 5.15.5 Costos y gastos

Gastos en personal de ventas			
	Cantidad	Sueldo Mensual (\$)	Total Anual (\$)
Responsable de ventas	1	2100,00	25.200,00
Responsable de marketing y publicidad	1	1400,00	16.800,00
Secretario	1	600,00	7.200,00
Suma			49.200,00
Cargas sociales %	36,1		17.766,67
Suma			66.966,67
Gastos en promoción			
		%	Costo(\$)
Propaganda y publicidad			60.000,00
Suma			126.966,67
Imprevistos %		3,00	3.809,00
Total			130.775,67
Gastos en personal administrativo			
Personal	N°	Sueldo Mensual (\$)	Total Anual (\$)
Gerente General	1	4.000,00	48.000,00
Gerente Administrativo	1	2.000,00	24.000,00
Contador	1	1.200,00	14.400,00
Unidad de Salud	1	1.200,00	14.400,00
Suma			100.800,00
Cargas sociales %	34,2		34.456,00
Suma			135.256,00
Gastos financieros			
	Tasa		Dólares
Intereses del préstamo	8,00		38.484,90
Total			38.484,90

Tabla 5.15.6 Resumen de costos y gastos

Resumen de costos y gastos	
	Costos(\$)
Costo de producción	2.566.726,62
Costos de ventas	130.775,67
Gastos de administración y generales	135.256,00
Gastos de financiamiento	38.484,90
Total	2.871.243,18

Tabla 5.15.7 Ventas netas

Ventas netas			
Producto	Cantidad (botellas)	Costo Unitario (\$)	Costo Total (\$)
Infusión de Guayusa	7398720,00	0,70	5179104,00
Total			5179104,00

Tabla 5.15.8 Capital de operación

Capital de operación		
	Tiempo (meses)	Costo (\$)
Materiales Directos	3,00	19.399,91
Mano de Obra Directa	3,00	49.142,85
Carga Fabril	3,00	573.138,89
Gastos de administración	3,00	33.814,00
Gastos de venta	3,00	32.693,92
Total		708.189,57

Tabla 5.15.9 Inversiones

Inversiones		
	Valor (\$)	%
Inversión fija	494.463,53	41,11
Capital de operaciones	708.189,57	58,89
Inversión total	1.202.653,10	100,00
Capital propio	721.591,86	60,00
Financiamiento	481.061,24	40,00

Tabla 5.15.10 Estado de ganancias y pérdidas

Estado de ganancias y pérdidas		
	Costo (\$)	%
Ventas netas	5.179.104,00	100,00
Costo de producción	2.566.726,62	49,56
Utilidad bruta en ventas	2.612.377,38	50,44
Gastos de ventas	130.775,67	2,53
Utilidad neta en ventas	2.481.601,72	47,92
Gastos de administración y generales	135.256,00	2,61
Utilidad neta en operaciones	2.346.345,72	45,30
Gastos de financiamiento	38.484,90	0,74
Reparto de utilidades a trabajadores 15 %	346.179,12	6,68
Utilidad neta del período antes del impuesto sobre las utilidades	1.961.681,69	37,88

En base a los datos de la table anterior, se establece que el beneficio antes del impuesto a las utilidades es de 1.961.681.69\$.

Tabla 5.15.11 Resumen costos fijos y variables

Cálculo del punto de equilibrio		
	Costos Fijos (\$)	Costos Variables (\$)
Materiales Directos		77.599,64
Mano de Obra Directa		196.571,40
Carga Fabril		
Mano de obra indirecta	87.957,24	
Materiales indirectos	2.087.618,78	
Suministros	37.574,21	
Reparaciones y mantenimiento	8.421,25	
Seguros	4.210,62	
Imprevistos	66.773,46	
Gastos de ventas	130.775,67	
Gastos administración, generales	135.256,00	
Gastos financieros	38.484,90	
Total	2.597.072,14	274.171,04

Se considera una depreciación de línea recta sobre 10 años, del capital fijo. Se conoce que en el Ecuador el impuesto a las utilidades es del 22% sobre las utilidades para empresas (Romero Arteta Ponce Abogados, 2015).

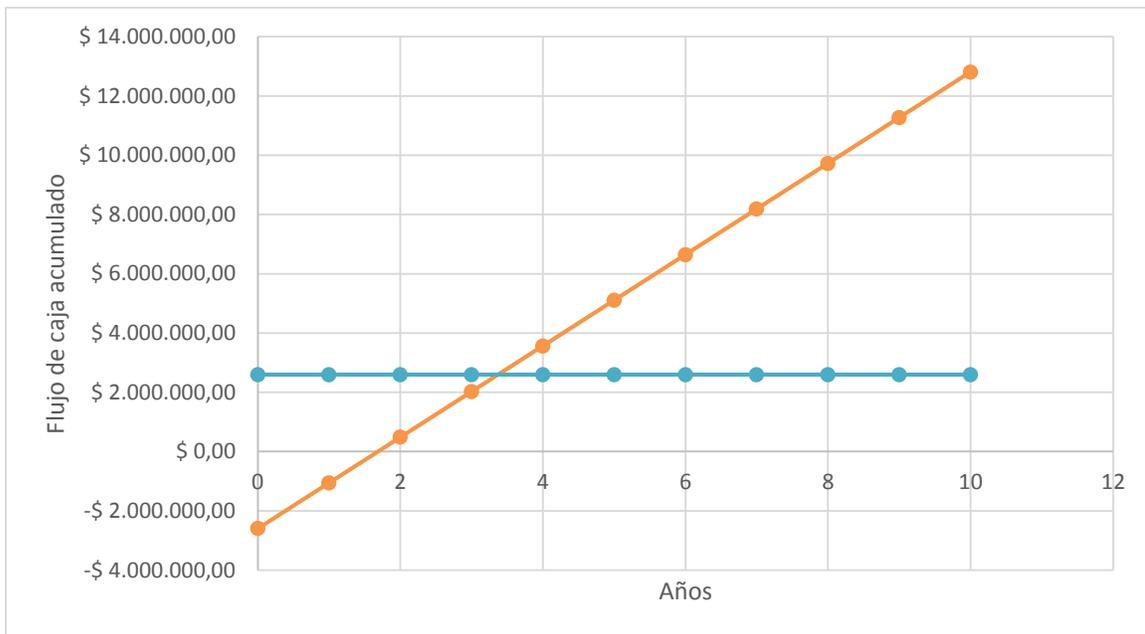
En base a estos conocimientos es posible calcular el flujo de caja del proyecto:

Tabla 5.15.12 Cálculo del flujo de caja

Año	Beneficio Bruto	Cargas de depreciación	Ingresos gravables	Impuestos pagados	Flujo de caja	Flujo de caja acumulado
0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	-\$ 2.597.072,14	-\$ 2.597.072,14
1	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	-\$ 1.057.128,45
2	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 482.815,24
3	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 2.022.758,93
4	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 3.562.702,62
5	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 5.102.646,31
6	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 6.642.590,00
7	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 8.182.533,69
8	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 9.722.477,38
9	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 11.262.421,07
10	\$ 1.961.681,69	\$ 44.690,76	\$ 1.916.990,93	\$ 421.738,00	\$ 1.539.943,69	\$ 12.802.364,76

El flujo de caja acumulado es negativo durante los dos primeros años y a partir del tercer año ya comienza a ser positivo. Entre el tercero y cuarto año, el flujo de caja acumulado iguala y supera a la inversión fija.

Considerando los datos obtenidos para el flujo de caja acumulado, es posible representar la variación del flujo de caja del proyecto:



Gráfica 5.15.1 Punto de equilibrio

La variación del flujo de caja acumulado está representado por la línea tomate, mientras que la inversión fija está representada por la línea azul. El capital fijo considera la inversión requerida para el diseño de la planta, el capital necesario para construir la planta y proporcionar los fondos para la puesta en marcha (capital de operación).

El tiempo de recuperación se ubica a mediados del tercer año. A partir de ese período, el flujo de caja acumulado supera la inversión fija, y se empieza a generar ganancias. Generalmente, hacia el final de la vida del proyecto, el flujo de caja suele disminuir debido al incremento de los costos de operación, a la caída del volumen de ventas.

6. Discusión de resultados

En cuanto a la radiación solar (gráfica 5.3.1) desde el 1 hasta el 25 de Octubre, se detectó una radiación media diaria de $467,42 \text{ W/m}^2$, desde las 7 am hasta las 18 pm. La variación global de la radiación entre los días considerados del mes de Octubre fue de 22% con relación al promedio. Esto indica, que la variación de la radiación solar entre un día y otro es considerable, y no puede ser despreciable al momento de considerar su efecto al irradiar las muestras de guayusa. Las variaciones de la energía de radiación pueden generar variaciones similares en la evolución diaria de la actividad antioxidante de las muestras de guayusa.

A partir de la gráfica 5.3.2, es posible destacar, que la irradiancia también varía según la hora del día considerada. Para el mes de Octubre de 2014, se detectó que la irradiancia era más importante entre las 9h30 y las 12h30 siendo máxima alrededor de las 10h30. Esto implica, que el horario de exposición de las muestras a la luz también es relevante para la variación de su actividad antioxidante, ya que la carga energética recibida por hora no es constante.

Por otro lado, considerando el espectro de la luz artificial de los focos ahorradores (gráfica 5.3.3), es posible observar, que está compuesto mayormente por radiaciones de longitudes de onda entre 480nm y 620nm y por radiaciones entre 370-480nm y 620-780nm que contribuyen en menores proporciones. La luz verde es aquella predominante en el espectro de la luz artificial. El aporte energético de la luz artificial a la que fueron expuestas las muestras es relativamente constante a lo largo del tiempo y mantiene los patrones anteriormente descritos.

En cuanto a la variación de la actividad antioxidante reportada, se observa una tendencia decreciente tanto para las muestras expuestas a la luz solar como para las muestras expuestas a la luz artificial.

Tabla 6.1 Disminución de la actividad antioxidante para las muestras expuestas a la luz solar

Gráfica	Muestra	FRAP ($\mu\text{mol/L}$) Día1	FRAP ($\mu\text{mol/L}$) Día 23	Disminución %
5.3.2.1	SECP2	7109	2697	62,1
5.3.2.2	WACHIRPASS	11303	6064	46,4
5.3.2.3	SMA1	7706	1039	86,5
5.3.2.4	KAPAPAS2	14848	7043	52,6
5.3.2.5	VALL6	10205	5483	46,3
5.3.2.6	ATCP01	4268	1111	74,0
5.3.2.7	SJP1	14039	6983	50,3
5.3.2.8	PON2	6965	1979	71,6
5.3.2.9	RYCP2	7685	1338	82,6
5.3.2.10	SRA1	10802	3438	68,2

Tabla 6.2 Disminución de la actividad antioxidante para las muestras expuestas a la luz artificial

Gráfica	Muestras	FRAP ($\mu\text{mol/L}$) Día1	FRAP ($\mu\text{mol/L}$) Día 23	Disminución %
5.3.2.1	SECP2	7109	2974	58,2
5.3.2.2	WACHIRPASS	11303	6641	41,2
5.3.2.3	SMA1	7706	2974	61,4
5.3.2.4	KAPAPAS2	14848	7567	49,0
5.3.2.5	VALL6	10205	6533	36,0
5.3.2.6	ATCP01	4268	1951	54,3
5.3.2.7	SJP1	14039	9604	31,6
5.3.2.8	PON2	6965	2985	57,1
5.3.2.9	RYCP2	7685	2360	69,3
5.3.2.10	SRA1	10802	4422	59,1

Se observa que el porcentaje de disminución final de la actividad antioxidante (día 23) respecto al valor inicial (día 1) es superior al 46% para la totalidad de las muestras expuestas a la luz solar, y superior al 31% para la totalidad de las muestras expuestas a la luz de focos ahorradores. Adicionalmente, se observa que los porcentajes de disminución de las muestras expuestas a la luz natural son superiores a aquellos de las muestras expuestas a la luz artificial. Los porcentajes de disminución de la actividad antioxidante son específicos para cada muestra y no siguen un patrón general. La mayor disminución de actividad antioxidante se reportó para SMA1 (86,5%), para las muestras expuestas al sol y para RYCP2 (69,3%), para las muestras expuestas a la luz de focos ahorradores. Mientras tanto, la menor disminución de actividad antioxidante se reportó para VALL6 (46,27%), para las muestras expuestas al sol y para SJP1(31,6%), para las muestras expuestas a la luz de focos ahorradores.

Además, el decrecimiento de la actividad antioxidante, tanto para las muestras expuestas a la luz natural, como para aquellas expuestas a la luz artificial; no posee una tendencia lineal sino que se parece a un decrecimiento polinómico específico a cada muestra.

Por otro lado, las variaciones entre los datos son muy marcados, particularmente para las muestras KAPAPAS2 artificial, VALL6 solar y artificial, SJP1 solar y artificial. Las variaciones de VALL6 y SJP1 pueden deberse al hecho de que para la medición de su actividad antioxidante, fueron sometidas a diluciones mayores, perdiendo precisión respecto a su valor FRAP final. Mientras tanto, la variación del día 20 de Octubre para KAPAPAS2 pudo haber sido un error de manipulación.

A su vez, las muestras que permanecieron 3 semanas en la oscuridad presentan una tendencia que parece ser constante. Efectivamente se puede establecer un valor promedio alrededor del cual oscilan los valores de actividad antioxidante.

Tabla 6.3 Variación de la actividad antioxidante para las muestras sometidas a la oscuridad

Gráfica	Muestra	Promedio (UMOL/l)	Desviación estándar	D.E relativa %
5.3.2.11	SECP2	5884	789	13,4
5.3.2.12	WACHIRPASS	9667	1066	11,0
5.3.2.13	SMA1	6061	680	11,2
5.3.2.14	KAPAPAS2	12710	1186	9,3
5.3.2.15	VALL6	8987	1127	12,5
5.3.2.16	ATCP01	3582	413	11,5
5.3.2.17	SJP1	11882	1575	13,3
5.3.2.18	PON2	5859	721	12,3
5.3.2.19	RYCP2	6314	906	14,4
5.3.2.20	SRA1	8725	769	8,8

Las desviaciones estándar de los datos alrededor del valor promedio, no superan el 14,35%, sin embargo siguen siendo elevados. Esto se puede deber a una variación real pero pequeña, de la actividad antioxidante cuando las muestras son expuestas a la oscuridad. Otro factor que desemboca en desviaciones relativas elevadas, puede ser la pérdida de precisión por el hecho de realizar las mediciones en días diferentes. Idealmente las variaciones se minimizan al hacer mediciones con condiciones de operación idénticas (mismos materiales, mismo día de operación). Sin embargo, en el caso de nuestro experimento no fue posible reproducir con máxima precisión estas condiciones. Así mismo, la variación entre los datos de la capacidad antioxidante para las muestras expuestas a la oscuridad es pronunciado, probablemente, debido a la dificultad de la estabilización de la absorbancia al momento de

su medición. Esta dificultad se presenta debido a que el reactivo FRAP reacciona progresivamente con la muestra y con el oxígeno del aire en todo momento, por lo que la absorbancia de las muestras a las que se les agrega el reactivo FRAP no se estabiliza sino que aumenta progresivamente. La velocidad en la medición de la absorbancia, que se multiplica por un factor 2000, determina mucho la variación del valor FRAP, y por ende de la actividad antioxidante obtenida.

Adicionalmente, los resultados reportados por Melo, 2014 presentan valores de actividad antioxidante ligeramente superiores. Se podría deducir que la actividad antioxidante disminuye ligeramente al exponer las muestras en la oscuridad pero de manera menos marcada que si estuvieran expuestas a la luz. Esta tendencia no se pudo observar durante las tres semanas de medición posiblemente por la antigüedad de las muestras que sugiere que los procesos fermentativos y oxidativos responsables de la disminución de la capacidad antioxidantes ya sucedieron mucho antes de tomar las mediciones. Las mediciones obtenidas corresponden posiblemente a una fase de estabilización de la actividad antioxidante posterior a su lenta disminución.

En cuanto al diseño de la planta industrial para la elaboración de infusión de guayusa, se consideró las condiciones para una mejor conservación de la actividad antioxidante. En efecto se emplearán botellas PET oscuras para el almacenamiento de la infusión y se refrigeraran a 4°C de temperatura en la bodega para limitar la degradación de la capacidad antioxidante. Así mismo, se observa que la implementación de la planta industrial es un proyecto factible, ya que el punto de equilibrio se ubica entre el tercero y cuarto año y existe un flujo de caja positivo a partir de ese período. Los costos fijos para su implementación son elevados, sin embargo se compensan en el tiempo por medio de los ingresos de las ventas

de la infusión. Por su parte, los costos variables crecen de manera muy desacelerada. Esto se debe principalmente a que los materiales directos para la elaboración de la infusión (agua y guayusa en su mayoría) son extremadamente económicos y se puede producir grandes volúmenes de infusión a precios ínfimos. Así mismo, el proceso de elaboración de infusión sencillo, los requerimientos en mano de obra son bajos. Los gastos en terrenos y construcciones así como los materiales indirectos, son aquellos que más contribuyen en los costos fijos debido a su requerimiento abundante y precio considerable. Igualmente los gastos en personal administrativo y en ventas contribuyen en gran porcentaje a los costos fijos.

7. Conclusiones y recomendaciones

Se definió el producto a base de guayusa a elaborarse de manera industrial. Efectivamente se diseñó el proceso productivo para fabricar infusión acuosa de guayusa. Adicionalmente, se determinó diariamente la capacidad antioxidante de dos lotes de 10 extractos de guayusa cada uno, por el modelo *in vitro*: FRAP, después de haberlos sometido a radiación solar y a radiación por luz artificial de focos ahorradores por 8 horas. Se estableció que la exposición ya sea a la luz artificial o a la luz solar provoca un decrecimiento progresivo en la actividad antioxidante de la guayusa. Efectivamente, al exponer las muestras a la luz la actividad antioxidante disminuye a más del 31,6% de su valor inicial para la totalidad de los extractos. Particularmente, la luz solar genera una tasa de decrecimiento ligeramente superior a aquella provocada por la luz artificial de focos ahorradores. Así mismo, la tendencia de decrecimiento no sigue un patrón general sino que es específico para cada muestra. Considerando las variaciones diarias detectadas entre los datos de actividad antioxidante para los extractos expuestos al sol, se puede

establecer que las variaciones de cantidad de irradiancia diaria tienen una pequeña influencia en estos valores.

Por su parte, los extractos que se conservaron en la oscuridad por tres semanas mantuvieron una actividad antioxidante aparentemente constante. Sin embargo, considerando los resultados de Melo, 2014 se pretende que la actividad antioxidante de los extractos de guayusa si decrece en la oscuridad pero a menor razón que en el caso de su exposición a la luz. Considerando la antigüedad de las muestras, los datos de las mediciones, por tres semanas, para los extractos almacenados en la oscuridad, corresponden posiblemente a una fase de estabilización de la actividad antioxidante posterior a su moderado decrecimiento. En base a estos hallazgos, se determinó que la infusión de guayusa debe almacenarse en botellas de PET oscuras, de 400mL, con etiquetas de cuerpo completo a una temperatura promedio de 4°C, para prevenir la degradación de la actividad antioxidante.

Por otro lado, la implementación de una planta de elaboración de infusión de guayusa es un proyecto factible, ya que los ingresos por ventas compensan y superan la inversión necesaria para instalar la planta a partir de mediados del tercer año; en especial por los ingredientes de la infusión que son muy económicos.

Para conocer con exactitud el decaimiento de la actividad antioxidante en la oscuridad es recomendable realizar un protocolo similar empleando esta vez extractos recién preparados con muestras recientemente recolectadas. Así mismo, es recomendable establecer si existe una relación directa entre el contenido de cafeína y la actividad antioxidante de la guayusa, para verificar si se cumplen los estudios realizados por Agarwal, Katiyar, Khan, & Mukhtar, 1993, en donde se pretende que la cafeína protege los compuestos antioxidantes de la radiación UV. Conociendo el decaimiento de la actividad antioxidante por el efecto de la luz solar y artificial,

es necesario implementar, para la industrialización de bebidas de guayusa, un almacenamiento que garantice la protección contra la luz y las altas temperaturas. Así mismo, es recomendable un expendio y consumo rápido de la infusión de guayusa para un mejor aprovechamiento de sus propiedades antioxidantes. Se puede agregar dosis mayores a 75mg/L de antioxidantes como el ácido ascórbico para retardar la disminución de la oxidación de la infusión de guayusa. Para mejorar la protección de la actividad antioxidante propia de las muestras, se puede también emplear sistemas multicomponentes de antioxidantes; ya que generalmente perseverantes como el ácido ascórbico también decaen, en tiempos extensos de almacenamiento (Decker, Elias, & McClements, 2010). Así mismo, estudios realizados por (Miao & Wu, 2014) sugieren que ingredientes como el azúcar y la sal tienen una influencia negativa en la actividad antioxidante de algunos productos. Se sugeriría hacer estudios para evaluar el efecto del azúcar en la actividad antioxidante de bebidas a base de guayusa, y en caso de que comprobarse este efecto negativo en la guayusa, buscar un endulzante que sustituya al azúcar. Además es recomendable escoger proveedores de materia prima que aseguren la calidad de la hoja (hojas jóvenes, proveniente de lugares donde haya buena calidad del suelo) con una alta actividad antioxidante, como aquellas de las muestras WAYCHIRPAS, KAPAPAS2 o SJP1 provenientes todas de distintas comunidades de la provincia de Pastaza. Adicionalmente en la recepción de la materia prima es recomendado evitar ambientes húmedos y calientes que puedan afectar la actividad antioxidante de las hojas.

También, es fundamental verificar el escalamiento del proceso. La elaboración de la infusión se efectuó a escala de laboratorio al igual que la medición de la variación de actividad antioxidante. Los resultados de actividad antioxidante obtenidos son a escala de laboratorio y para un método de extracción distinto al de la infusión. Habría que realizar un estudio detallado de la actividad antioxidante para ver si los resultados son reproducibles a escala piloto para la extracción de

tipo infusión; y en el caso de no serlo encontrar un método de escalamiento del proceso para una recuperación óptima de compuestos antioxidantes. De igual modo habría que determinar si la formulación de la infusión a escala industrial conserva el mismo sabor agradable, o si se necesita hacer un cambio en la formulación para conservar sus propiedades degustativas.

8. Referencias

- Cazorla, M.C , Estación de Mediciones Atmosféricas EMA USFQ. (2015). Quito.
- Agarwal, R., Katiyar, S. K., Khan, S. G., & Mukhtar, H. (1993). Protection against ultraviolet B radiation-induced effects in the skin of SKH-1 hairless mice by a polyphenolic fraction isolated from green tea. *Photochemistry and Photobiology*, 58, 695-700.
- Alomar, M. F. (2011). *Antioxidantes: captadores de radicales libres ó sinónimo de salud?*
- Andes info. (28 de Enero de 2014). La horchata, la bebida tradicional del sur de Ecuador que se abre campo en el mundo. *andes*.
- Arias, R. V., & Gualli, A. E. (2013). *Estudio Comparativo de Té de la especie (Ilex Guayusa) procedente de la región amazónica y el producto comercial de la empresa "Aromas de Tungurahua"*. Guayaquil.
- Aromas de Tungurahua. (19 de Enero de 2015). *Infusiones Medicinales*. Obtenido de <http://www.aromasdeltungurahua.com/ventas/infusiones-medicinales.html>
- Banco Central del Ecuador; INEC. (2014). *Quito en Cifras*. Quito.
- Bazinet, L., Araya-Farias, M., Doyen, A., Trudel, D., & Têtu, B. (2010). Effect of process unit operations and long-term storage on catechin contents in EGCG-enriched tea drink. *Food Research International*, 43, 1692–1701.
- Benzie, I. (1999). Ferric reducing/antioxidant power assay: direct measure of total antioxidant activity of biological fluids and modified version for simultaneous measurement. *Method Enzymol*, 15-27.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). *The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a measure of ‘Antioxidant Power’: The FRAP Assay*. Hong Kong.
- Brewer, M. (2011). Natural Antioxidants: Sources, Compounds,. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 3.

- Decker, E., Elias, R. J., & McClements, D. J. (2010). *Oxidation in Foods and Beverages and Antioxidant Applications : Understanding Mechanisms of Oxidation and Antioxidant Activity*.
- Diario Centinela. (07 de 2013). La horchata en nueva presentación . *Diario Centinela*.
- Diversey Wyandotte del Ecuador S.A. (2012). *Eden: Lavado microbiano para frutas y verduras*. Guayaquil.
- Engineering ToolBox. (13 de Abril de 2015). *Properties of Saturated Steam - SI Units*. Obtenido de http://www.engineeringtoolbox.com/saturated-steam-properties-d_101.html
- EPMAPS. (23 de Marzo de 2015). *Quito Alcaldía*. Obtenido de <http://www.aguaquito.gob.ec/agua-potable-que-produce-la-epmaps-cumple-con-norma-inen-1108>
- Estévez, E. (2010). *Población e indicadores del distrito metropolitano de Quito*. Obtenido de <http://sthv.quito.gob.ec/images/indicadores/parroquia/Demografia.htm>
- Fundación Chankuap. (2013). *Manual de buenas prácticas de recolección para la cosecha de hojas*.
- Garavito, L. (1982). *Diseño de acueductos alcantarillados*, 8 ed.
- García Barriga, H. (1992). *Flora*. Bogotá: Tercer Mundo.
- Gualle, E. (2010). *Caracterización de los consumidores de bebidas, según volúmenes de consumo, marca, opiniones y actitudes en general, en la ciudad de Quito*. Quito.
- Guthrie, K. (1969). Data and Techniques for Preliminary Capital Cost Estimating. *Chemical Engineering magazine*.
- Hardesty, J. H., & Attili, B. (2010). *Spectrophotometry and the Beer, an Important Analytical Technique in Chemistry*.
- Harris.D. (2006). Fundamentos de espectrofotometría. En Harris.D, *Análisis Químico Cuantitativo* (págs. 407-415). Nueva York: Reverté.
- Imlay, J. (2008). Annual Review of Biochemistry. *Cellular defenses against superoxide and hydrogen peroxide*,77, 755-776.
- INEC. (2011). *Proyección de la población ecuatoriana, por años calendario, según cantones 2010-2020*.

- INEC. (2014). *Indicadores laborales Septiembre 2014*.
- Infusionistas. (13 de Septiembre de 2011). *Infusionistas*. Obtenido de <http://infusionistas.com/infusiones-tisanas/guayusa-hojas-de-la-amazonia-ancestral/>
- Instituto ecuatoriano de normalización. (2008). *Agua potable*. Quito.
- Instituto ecuatoriano de normalización. (2014). *Té preparación de la infusión para uso en análisis sensorial*. Quito.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (Junio de 2009). *La Industria de alimentos y bebidas en el Ecuador*. Quito, Ecuador.
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (Marzo de 2015). *Población y Demografía*. Obtenido de <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/>
- Instituto nacional de normalización. (2007). *Norma técnica ecuatoriana INEN 2392:2007 Hierbas Aromática Requisitos*. Quito.
- Ivan Kushnir's Research Center. (2013). *Producto interno bruto (PIB) de Ecuador, 1970-2012*. Obtenido de http://es.kushnirs.org/macroeconomica/gdp/gdp_ecuador.html#p1_1
- Iza, C. (2010). *Proyecto de factibilidad para el procesamiento y comercialización del té de hoja de higo en la ciudad de Quito*. Quito.
- Kim, Y., Welt, B., & Talcott, S. (2011). The impact of packaging materials on the antioxidant phytochemical stability of aqueous infusionsof green tea (*Camellia sinensis*) and yaupon holly (*Ilex vomitoria*) during cold storage. *J. Agric. Food Chem.* 59, 4676–4683.
- Macías, G. (2011). Obtenido de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1353/1/TESIS%20GABRIEL%20%20MA CIAS.pdf>
- Melo, V. A. (2014). *Composición y Análisis Químico de la Especie Ilex guayusa Loes*. Quito.
- Miao, L., & Wu, T. (2014). Liquefied Pulp for Drinking and their Antioxidant Capacities During Processing. *Processing and Impact on Antioxidants in Beverages*, 165-172.
- Municipio del D.M.Q. (23 de Marzo de 2009). *Administraciones Zonales del Distrito Metropolitano de Quito*. Obtenido de <http://www.quito.gob.ec/index.php/component/content/category/65-administraciones-zonales>

- Office of Dietary Supplements. (Junio de 2013). *National Institutes of Health*. Obtenido de <http://ods.od.nih.gov/factsheets/VitaminC-HealthProfessional/>
- Patiño, V. M. (1967). *Guayusa, planta estimulante olvidada del piedemonte andino oriental*.
- Peralta, M., & Volke, T. (2012). La defensa antioxidante en las plantas: Una herramienta clave para la fitorremediación. *Revista mexicana de ingeniería química*, 11.
- Plusvalía. (17 de Marzo de 2015). Obtenido de [http://www.plusvalia.com/propiedades/calderon-terreno-3.694-m2.-plano-\\$90-c-m2.-cerca-50645908.html](http://www.plusvalia.com/propiedades/calderon-terreno-3.694-m2.-plano-$90-c-m2.-cerca-50645908.html)
- Prakash, A., Rigelhof, F., & Miller, E. (2002). *Antioxidant Activity*. Obtenido de Medallion Laboratories: http://medlabs.info/Downloads/Antiox_acti_.pdf
- Radice, M., & Vidari, G. (2009). *Caracterización fitoquímica de la especie Ilex guayusa Loes y elaboración de un prototipo de fitofármaco de interés comercial*. Pavía.
- Randall, W., & Whitesides, P. (2012). *Process Equipment Cost Estimating by Ratio and Proportion*.
- Riaz, T., Abbasi, M. A., Aziz-ur-Rehman, Shahzadi, T., Qureshi, M. Z., & Khan, K. M. (2011). Antioxidant activity and radical scavenging effects of various fractions from Curcuma zedoaria. *Asian Journal of Pharmaceutical and Biological Research*, 525-533.
- Rodriguez, J. (2005). Intercambiadores de Calor. En J. Rodriguez, *Introducción a la termodinámica*.
- Rojano, B. A., Gaviria, C. A., & Sáez, J. A. (Agosto de 2008). Determinación de la actividad antioxidante en un modelo de peroxidación lipídica de mantequilla inhibida por el modelo isoespintanol. *Vitae vol.15*.
- Romero Arteta Ponce Abogados. (28 de Marzo de 2015). Obtenido de <http://guiatributaria.sunat.gob.pe/tipos-de-contribuyente/regimen-general-del-impuesto-a-la-renta-para-empresas-y-negocios-3ra-categoria/68-como-se-determina-el-impuesto-en-los-negocios>
- RUNA. (21 de Enero de 2015). *RUNA clean energy*. Obtenido de <http://runa.org/products/#Products>
- Schultes, R. (1972). *Ilex Guayusa from 500 A.D to the present*.
- Secretaría del Ambiente. (2015). *Datos Red de Monitoréo*. Obtenido de <http://190.152.144.75/reportes/Reporte10MinutoGraph.aspx>

- Spectrophotometry*. (s.f.). Obtenido de University of Queensland Diamantina Institute:
<http://www.di.uq.edu.au/sparqspectro>
- The Engineering ToolBox*. (s.f.). Obtenido de http://www.engineeringtoolbox.com/overall-heat-transfer-coefficients-d_284.html
- Turmeric for Health*. (20 de Marzo de 2015). Obtenido de
<http://www.turmericforhealth.com/turmeric-benefits/why-is-turmeric-a-great-antioxidant>
- University of Queensland Diamantina Institute. (29 de Enero de 2015). *Spectrophotometry*.
Obtenido de <http://www.di.uq.edu.au/sparqspectro>
- USDA, A. N. (29 de Diciembre de 2014). *GRIN Taxonomy for Plants*. Obtenido de
<http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?411941>
- Vivanco, M. (2005). *Muestreo Estadístico. Diseño Y Aplicaciones*. Santiago de Chile:
Editorial Universitaria.
- Wade, L. (2004). *Química orgánica*. Madrid: Pearson.
- Weissmann, E. (4 de Julio de 2014). *Ecuador's "Superleaf" Tea: Could It Replace Your Afternoon Coffee?* Obtenido de National Geographic:
<http://news.nationalgeographic.com/news/2014/07/140703-guayusa-ecuador-amazon-health-foods-tea/>

9. Anexos

Anexo 1: Ubicación de las muestras recolectadas

Tabla 9.1 Ubicación de las muestras recolectadas

Código	Provincia	Comunidad	Longitud	Latitud
SECP2	Napo	Santa Estefanía de ChonPu	-773.511.000	-0.9029000
WAYCHIRPAS 2	Pastaza	Waychirpas	-768.072.000	-25717000
SMA1	Napo	Santa María	-778.062.000	-0.9033000
KAPAPAS2	Pastaza	Kapawi	-768.433.000	-25364000
VALL6	Zamora Chinchiipe	Valladolid	-791.315.000	-45517000
ATCP01	Napo	Atacapi	-778.594.000	-0.9549000
SJP1	Pastaza	San Juan de Piatua	-779.524.000	-12118000
PON2	Napo	Ponceloma	-777197000	-10193430
RYCP2	Napo	Rayacu de Chonta Punta	-773.076.000	-0.9184000
SRA1	Napo	Santa Rita	-778.287.000	-0.8739000

Datos recuperados de (Melo, 2014)

Anexo 2: Muestras expuestas a la luz del sol

02/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	7109,091	252,394	3,550
WACHIRPAS 2	11303,270	1262,784	11,172
SMA1	7705,857	373,579	4,848
KAPAPAS2	14847,807	169,689	1,143
VALL6	10204,968	1101,246	10,791
ATCP01	4267,510	203,848	4,777
SJP1	14038,678	1588,123	11,312
PON2	6965,108	536,358	7,701
RYCP2	7684,626	345,604	4,497
SRA1	10801,748	91,116	0,844

03/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6141,581	426,919	6,951
WACHIRPAS 2	9695,548	580,248	5,985
SMA1	5951,292	318,769	5,356
KAPAPAS2	9983,383	824,056	8,254
VALL6	8932,377	345,577	3,869
ATCP01	4360,282	443,253	10,166
SJP1	12487,443	873,216	6,993
PON2	6484,330	475,533	7,334
RYCP2	3141,240	231,341	7,365
SRA1	4116,599	345,500	8,393

04/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6239,734	105,863	1,697
WACHIRPAS 2	9055,740	520,853	5,752
SMA1	5228,127	466,437	8,922
KAPAPAS2	9163,218	963,650	10,516
VALL6	8350,621	636,382	7,621
ATCP01	3571,720	506,941	14,193
SJP1	13476,355	2068,425	15,349
PON2	5941,915	688,252	11,583
RYCP2	3271,672	284,893	8,708
SRA1	4082,006	255,967	6,271

05/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6365,931	766,857	12,046
WACHIRPAS 2	10007,249	1097,564	10,968
SMA1	3900,349	330,459	8,473
KAPAPAS2	9191,500	564,923	6,146
VALL6	9683,811	998,625	10,312
ATCP01	3212,229	303,952	9,462
SJP1	12429,271	3143,584	25,292
PON2	5177,602	258,880	5,000
RYCP2	2978,200	135,758	4,558
SRA1	3173,932	324,398	10,221

06/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	4189,573	188,572	4,501
WACHIRPAS 2	9137,766	57,300	0,627
SMA1	4172,991	432,814	10,372
KAPAPAS2	8060,056	499,353	6,195
VALL6	9025,821	715,567	7,928
ATCP01	3189,160	83,458	2,617
SJP1	10587,362	1110,534	10,489
PON2	4869,411	419,917	8,624
RYCP2	2923,857	307,689	10,523
SRA1	5400,016	454,807	8,422

07/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3797,146	244,260	6,433
WACHIRPAS 2	7285,926	525,159	7,208
SMA1	3338,393	183,398	5,494
KAPAPAS2	8515,426	448,488	5,267
VALL6	9252,434	494,393	5,343
ATCP01	2802,260	116,070	4,142
SJP1	11582,522	632,075	5,457
PON2	4300,115	249,457	5,801
RYCP2	2343,508	207,323	8,847
SRA1	4377,495	92,321	2,109

08/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3283,122	103,551	3,154
WACHIRPAS 2	5707,309	449,258	7,872
SMA1	2542,485	167,738	6,597
KAPAPAS2	5866,689	232,566	3,964
VALL6	7704,834	470,262	6,103
ATCP01	2785,679	307,092	11,024
SJP1	11106,528	810,006	7,293
PON2	3985,068	289,740	7,271
RYCP2	2509,322	38,293	1,526
SRA1	4172,991	128,795	3,086

09/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3658,967	350,309	9,574
WACHIRPAS 2	6291,701	695,590	11,056
SMA1	2940,439	177,300	6,030
KAPAPAS2	7065,831	909,127	12,867
VALL6	11098,499	170,179	1,533
ATCP01	2940,439	294,913	10,030
SJP1	10859,374	891,955	8,214
PON2	3962,960	456,215	11,512
RYCP2	2658,555	107,885	4,058
SRA1	4631,744	182,647	3,943

10/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3305,230	361,130	10,926
WACHIRPAS 2	6701,534	576,603	8,604
SMA1	2713,826	263,396	9,706
KAPAPAS2	7043,062	1444,381	20,508
VALL6	9567,481	450,759	4,711
ATCP01	2923,857	383,290	13,109
SJP1	10009,997	688,742	6,881
PON2	4493,565	179,356	3,991
RYCP2	2730,408	69,034	2,528
SRA1	4664,907	47,866	1,026

13/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3377,083	50,657	1,500
WACHIRPAS 2	4974,138	515,416	10,362
SMA1	2664,082	19,147	0,719
KAPAPAS2	7346,175	1248,143	16,990
VALL6	9020,294	614,184	6,809
ATCP01	2735,935	211,697	7,738
SJP1	9255,308	131,652	1,422
PON2	3880,053	141,672	3,651
RYCP2	2293,763	223,900	9,761
SRA1	4117,720	184,891	4,490

14/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3415,773	201,722	5,906
WACHIRPAS 2	6428,312	447,524	6,962
SMA1	2337,981	28,720	1,228
KAPAPAS2	9312,325	1048,094	11,255
VALL6	9766,458	266,853	2,732
ATCP01	2664,082	141,023	5,294
SJP1	9354,828	791,086	8,456
PON2	3725,293	300,912	8,078
RYCP2	2398,779	78,361	3,267
SRA1	4808,612	570,314	11,860

15/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3111,780	300,912	9,670
WACHIRPAS 2	6147,500	343,797	5,592
SMA1	1995,298	25,329	1,269
KAPAPAS2	6762,250	470,488	6,958
VALL6	7936,974	959,767	12,092
ATCP01	2619,865	191,226	7,299
SJP1	10868,174	1210,235	11,136
PON2	3763,983	272,965	7,252
RYCP2	2310,345	47,866	2,072
SRA1	4543,310	738,013	16,244

16/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3084,145	100,861	3,270
WACHIRPAS 2	5707,309	731,551	12,818
SMA1	1752,104	174,171	9,941
KAPAPAS2	6747,071	591,251	8,763
VALL6	8075,153	418,496	5,183
ATCP01	1973,189	43,870	2,223
SJPI	8492,658	159,380	1,877
PON2	3316,284	247,613	7,467
RYCP2	2161,112	182,647	8,452
SRA1	4338,805	81,794	1,885

17/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	2876,088	1422,999	49,477
WACHIRPAS 2	4758,846	2413,934	50,725
SMA1	1507,131	736,604	48,875
KAPAPAS2	5297,732	2559,508	48,313
VALL6	5146,058	2751,492	53,468
ATCP01	1567,934	789,650	50,362
SJPI	6858,668	3364,874	49,060
PON2	2395,196	1158,817	48,381
RYCP2	1297,102	655,949	50,570
SRA1	3224,314	1581,996	49,065

20/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3377,083	283,505	8,395
WACHIRPAS 2	6018,479	527,785	8,769
SMA1	1409,421	168,283	11,940
KAPAPAS2	6853,325	374,817	5,469
VALL6	8014,354	476,650	5,947
ATCP01	1801,848	112,867	6,264
SJPI	11030,071	1338,974	12,139
PON2	3321,812	134,026	4,035
RYCP2	1774,212	131,611	7,418
SRA1	4211,681	319,811	7,593

22/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3835,836	119,953	3,127
WACHIRPAS 2	6557,334	836,879	12,762
SMA1	1409,421	168,283	11,940
KAPAPAS2	7217,621	967,863	13,410
VALL6	6610,460	580,429	8,780
ATCP01	1602,871	91,323	5,697
SJPI	10316,849	149,969	1,454
PON2	2675,136	229,958	8,596
RYCP2	1514,437	53,302	3,520
SRA1	3603,696	385,436	10,696

24/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	2697,245	386,149	14,316
WACHIRPAS 2	6064,016	600,819	9,908
SMA1	1039,102	117,639	11,321
KAPAPAS2	7043,062	770,550	10,941
VALL6	5482,924	194,317	3,544
ATCP01	1110,955	103,551	9,321
SJPI	6982,947	746,948	10,697
PON2	1978,716	156,721	7,920
RYCP2	1337,568	101,314	7,575
SRA1	3437,882	91,323	2,656

Anexo 3: Muestras expuestas a la luz artificial

02/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	7109,091	252,394	3,550
WACHIRPAS 2	11303,270	1262,784	11,172
SMA1	7705,857	373,579	4,848
KAPAPAS2	14847,807	169,689	1,143
VALL6	10204,968	1101,246	10,791
ATCP01	4267,510	203,848	4,777
SJPI	14038,678	1588,123	11,312
PON2	6965,108	536,358	7,701
RYCP2	7684,626	345,604	4,497
SRA1	10801,748	91,116	0,844

03/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6548,216	105,863	1,617
WACHIRPAS 2	8973,713	495,430	5,521
SMA1	6484,775	680,718	10,497
KAPAPAS2	8767,277	297,964	3,399
VALL6	9235,375	1059,436	11,471
ATCP01	3629,703	315,672	8,697
SJPI	11866,949	908,665	7,657
PON2	6804,849	500,295	7,352
RYCP2	3739,054	18,826	0,504
SRA1	4557,663	194,731	4,273

04/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6492,128	135,222	2,083
WACHIRPAS 2	10007,249	725,553	7,250
SMA1	6140,975	74,035	1,206
KAPAPAS2	7494,607	1722,854	22,988
VALL6	8568,779	529,822	6,183
ATCP01	4058,773	175,103	4,314
SJPI	14426,487	1225,746	8,496
PON2	6373,382	620,314	9,733
RYCP2	3315,150	458,063	13,817
SRA1	3952,281	216,035	5,466

05/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6870,719	367,523	5,349
WACHIRPAS 2	9022,929	362,777	4,021
SMA1	6295,092	310,053	4,925
KAPAPAS2	9134,937	915,116	10,018
VALL6	8920,257	494,991	5,549
ATCP01	3397,773	40,171	1,182
SJPI	10199,371	1715,150	16,816
PON2	5781,656	476,969	8,250
RYCP2	3499,929	150,610	4,303
SRA1	4497,125	172,750	3,841

06/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	4178,518	144,553	3,459
WACHIRPAS 2	6716,713	532,511	7,928
SMA1	3332,866	278,943	8,369
KAPAPAS2	5957,763	173,897	2,919
VALL6	6831,546	366,671	5,367
ATCP01	2087,114	172,400	8,260
SJPI	10860,584	276,054	2,542
PON2	5433,179	331,767	6,106
RYCP2	2514,849	186,372	7,411
SRA1	5118,132	107,885	2,108

07/10/2014	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3327,339	94,286	2,834
WACHIRPAS 2	7240,389	219,572	3,033
SMA1	2879,640	67,013	2,327
KAPAPAS2	7331,463	956,278	13,043
VALL6	7511,384	359,859	4,791
ATCP01	2006,352	72,277	3,602
SJPI	10106,941	953,573	9,435
PON2	4852,830	83,458	1,720
RYCP2	2376,671	85,089	3,580
SRA1	4664,907	400,136	8,578

08/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3587,114	516,248	14,392
WACHIRPAS 2	6322,788	499,416	7,899
SMA1	4294,588	250,922	5,843
KAPAPAS2	8227,025	1343,407	16,329
VALL6	8528,378	762,445	8,940
ATCP01	2509,322	234,692	9,353
SJP1	14954,147	363,546	2,431
PON2	5604,521	315,047	5,621
RYCP2	2548,012	242,754	9,527
SRA1	6052,219	298,926	4,939

09/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3924,270	199,207	5,076
WACHIRPAS 2	7278,337	357,352	4,910
SMA1	4344,333	418,496	9,633
KAPAPAS2	8105,593	1088,135	13,424
VALL6	7334,516	682,126	9,300
ATCP01	2310,345	159,331	6,896
SJP1	12001,595	399,101	3,325
PON2	5212,094	383,290	7,354
RYCP2	2548,012	167,738	6,583
SRA1	5637,684	33,163	0,588

10/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3399,192	315,047	9,268
WACHIRPAS 2	6724,303	374,356	5,567
SMA1	3857,944	246,128	6,380
KAPAPAS2	7058,241	328,372	4,652
VALL6	7511,384	755,684	10,061
ATCP01	2442,996	78,361	3,208
SJP1	8135,714	776,076	9,539
PON2	5261,838	235,277	4,471
RYCP2	2293,763	285,919	12,465
SRA1	5698,482	268,564	4,713

13/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3598,169	207,765	5,774
WACHIRPAS 2	7496,906	211,536	2,822
SMA1	4084,557	259,187	6,346
KAPAPAS2	8901,089	666,392	7,487
VALL6	8821,317	546,684	6,197
ATCP01	2796,733	172,585	6,171
SJP1	9910,478	494,060	4,985
PON2	4963,372	285,438	5,751
RYCP2	2067,151	125,553	6,074
SRA1	5377,908	153,173	2,848

14/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	4327,751	82,907	1,916
WACHIRPAS 2	7490,843	395,019	5,273
SMA1	3620,277	191,466	5,289
KAPAPAS2	9350,272	1054,586	11,279
VALL6	8578,122	700,618	8,168
ATCP01	2437,469	173,115	7,102
SJP1	10640,287	779,789	7,329
PON2	5283,947	194,317	3,677
RYCP2	2796,733	229,958	8,222
SRA1	4979,954	336,702	6,761

15/10/2014	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	4587,527	163,588	3,566
WACHIRPAS 2	7422,538	355,656	4,792
SMA1	4034,813	69,034	1,711
KAPAPAS2	9077,050	517,869	5,705
VALL6	8539,432	316,353	3,705
ATCP01	2853,110	457,904	16,049
SJP1	11006,057	1091,704	9,919
PON2	5054,582	23,953	0,474
RYCP2	3338,393	298,619	8,945
SRA1	5510,559	390,398	7,085

16/10/2014	FRAP Promedio (µmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	5084,969	737,143	14,497
WACHIRPAS 2	7073,420	787,519	11,133
SMA1	3907,689	41,729	1,068
KAPAPAS2	8454,710	335,659	3,970
VALL6	8467,580	795,275	9,392
ATCP01	2559,066	280,581	10,964
SJPI	9889,104	1003,814	10,151
PON2	5181,652	366,424	7,072
RYCP2	2376,671	138,068	5,809
SRA1	4858,357	473,950	9,755

17/10/2014	FRAP Promedio (µmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3924,270	385,436	9,822
WACHIRPAS 2	6185,448	290,094	4,690
SMA1	3167,052	276,964	8,745
KAPAPAS2	8037,288	313,015	3,895
VALL6	7163,174	159,905	2,232
ATCP01	2249,546	110,405	4,908
SJPI	9307,318	1027,302	11,038
PON2	4794,643	505,829	10,550
RYCP2	2260,601	257,591	11,395
SRA1	4543,310	346,230	7,621

20/10/2014	FRAP Promedio (µmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	4084,557	414,314	10,143
WACHIRPAS 2	7718,528	404,742	5,244
SMA1	3404,719	69,034	2,028
KAPAPAS2	11338,723	1343,921	11,852
VALL6	7550,074	144,870	1,919
ATCP01	2227,438	280,581	12,597
SJPI	12580,916	1710,087	13,593
PON2	4722,718	79,969	1,693
RYCP2	2575,648	112,867	4,382
SRA1	4626,217	201,039	4,346

22/10/2014	FRAP Promedio (µmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	3205,742	232,337	7,248
WACHIRPAS 2	6428,312	245,577	3,820
SMA1	3111,780	175,742	5,648
KAPAPAS2	8249,794	1288,250	15,616
VALL6	6494,390	839,834	12,932
ATCP01	1928,972	83,458	4,327
SJPI	8367,926	1162,806	13,896
PON2	3992,627	393,526	9,856
RYCP2	2072,678	244,260	11,785
SRA1	3603,696	385,436	10,696

24/10/2014	FRAP Promedio (µmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	2973,602	304,093	10,226
WACHIRPAS 2	6640,818	479,943	7,227
SMA1	2973,602	169,369	5,696
KAPAPAS2	7566,738	887,778	11,733
VALL6	6533,080	257,413	3,940
ATCP01	1951,081	184,891	9,476
SJPI	9603,626	716,350	7,459
PON2	2984,656	66,326	2,222
RYCP2	2360,089	62,776	2,660
SRA1	4421,713	182,647	4,131

Anexo 4: Muestras sometidas a la oscuridad

1	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	4739,393	378,630	7,989
WACHIRPAS 2	8372,792	762,918	9,112
SMA1	5314,350	130,692	2,459
KAPAPAS2	10998,127	769,987	7,001
VALL6	6003,002	493,891	8,227
ATCP01	2845,117	223,361	7,851
SJP1	9359,280	372,191	3,977
PON2	4353,192	251,081	5,768
RYCP2	5299,749	246,491	4,651
SRA1	7715,545	762,406	9,881

2	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	4267,836	231,003	5,413
WACHIRPAS 2	7161,140	866,686	12,103
SMA1	4915,349	308,785	6,282
KAPAPAS2	10357,460	1203,326	11,618
VALL6	7602,163	298,289	3,924
ATCP01	3387,878	455,639	13,449
SJP1	9496,916	835,086	8,793
PON2	5080,116	52,180	1,027
RYCP2	5011,545	319,826	6,382
SRA1	7442,428	193,605	2,601

3	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6108,244	179,441	2,938
WACHIRPAS 2	10397,138	887,821	8,539
SMA1	6489,604	89,259	1,375
KAPAPAS2	12888,465	647,913	5,027
VALL6	9166,194	393,093	4,289
ATCP01	3328,552	197,874	5,945
SJP1	11178,438	575,729	5,150
PON2	5586,740	274,409	4,912
RYCP2	6199,728	528,022	8,517
SRA1	9512,335	370,972	3,900

4	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	7154,013	205,832	2,877
WACHIRPAS 2	10325,135	564,932	5,471
SMA1	7421,531	232,943	3,139
KAPAPAS2	14894,521	586,646	3,939
VALL6	9747,265	270,075	2,771
ATCP01	3756,634	298,062	7,934
SJP1	13626,939	438,230	3,216
PON2	6487,289	451,200	6,955
RYCP2	6806,918	634,134	9,316
SRA1	10084,711	379,876	3,767

5	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	5323,917	272,291	5,114
WACHIRPAS 2	8971,492	453,786	5,058
SMA1	6455,715	101,665	1,575
KAPAPAS2	12497,905	960,617	7,686
VALL6	8838,830	214,042	2,422
ATCP01	3118,880	302,258	9,691
SJP1	12025,116	468,547	3,896
PON2	5986,984	325,519	5,437
RYCP2	5193,071	407,691	7,851
SRA1	8040,513	417,604	5,194

8	FRAP Promedio ($\mu\text{mol/L}$)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6429,105	296,856	4,617
WACHIRPAS 2	10008,325	124,712	1,246
SMA1	6591,269	326,807	4,958
KAPAPAS2	12639,927	635,388	5,027
VALL6	9329,876	298,692	3,201
ATCP01	3442,125	219,802	6,386
SJP1	13089,185	1214,697	9,280
PON2	5836,892	562,890	9,644
RYCP2	6071,899	559,710	9,218
SRA1	8531,120	517,684	6,068

9	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	5347,684	257,085	4,807
WACHIRPAS 2	9461,107	1086,925	11,488
SMA1	5947,391	183,279	3,082
KAPAPAS2	13119,250	1289,609	9,830
VALL6	9215,299	184,279	2,000
ATCP01	3503,280	178,401	5,092
SJPI	11979,350	68,650	0,573
PON2	5753,508	132,368	2,301
RYCP2	5784,282	99,787	1,725
SRA1	8653,772	62,451	0,722

10	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	5585,359	529,194	9,475
WACHIRPAS 2	9763,517	566,581	5,803
SMA1	6404,883	264,133	4,124
KAPAPAS2	12444,647	614,972	4,942
VALL6	9575,399	454,715	4,749
ATCP01	3878,943	171,864	4,431
SJPI	12082,324	662,032	5,479
PON2	6253,813	100,061	1,600
RYCP2	6822,897	987,451	14,473
SRA1	10030,199	143,580	1,431

11	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6238,965	155,400	2,491
WACHIRPAS 2	9936,323	376,621	3,790
SMA1	6201,553	101,665	1,639
KAPAPAS2	12586,669	325,412	2,585
VALL6	9346,244	429,022	4,590
ATCP01	3643,061	250,019	6,863
SJPI	12551,430	527,680	4,204
PON2	6195,444	260,367	4,203
RYCP2	6519,302	415,138	6,368
SRA1	8449,352	347,714	4,115

15	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	5597,243	233,781	4,177
WACHIRPAS 2	8697,883	303,437	3,489
SMA1	5642,397	254,162	4,505
KAPAPAS2	11734,539	293,323	2,500
VALL6	9673,608	512,667	5,300
ATCP01	3573,170	282,686	7,911
SJPI	12334,039	691,057	5,603
PON2	5753,508	300,183	5,217
RYCP2	7733,681	110,704	1,431
SRA1	9321,543	227,632	2,442

16	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6274,616	142,605	2,273
WACHIRPAS 2	10685,147	475,870	4,454
SMA1	6286,274	205,437	3,268
KAPAPAS2	13687,337	508,050	3,712
VALL6	9362,612	214,511	2,291
ATCP01	4245,870	204,699	4,821
SJPI	12219,623	863,594	7,067
PON2	6387,228	125,907	1,971
RYCP2	7813,575	253,654	3,246
SRA1	8381,212	354,065	4,225

17	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6060,709	455,164	7,510
WACHIRPAS 2	9677,114	923,541	9,544
SMA1	6082,944	211,632	3,479
KAPAPAS2	13022,498	747,059	5,737
VALL6	9845,474	361,678	3,674
ATCP01	3983,779	114,243	2,868
SJPI	14393,526	704,564	4,895
PON2	6770,795	104,147	1,538
RYCP2	6945,932	416,051	5,990
SRA1	9117,124	649,013	7,119

18	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	5656,662	89,720	1,586
WACHIRPAS 2	9893,121	678,963	6,863
SMA1	5862,671	120,112	2,049
KAPAPAS2	13309,204	1634,094	12,278
VALL6	9051,617	408,878	4,517
ATCP01	3468,334	193,190	5,570
SJPI	11842,051	480,547	4,058
PON2	6353,874	700,427	11,024
RYCP2	6931,552	49,817	0,719
SRA1	8885,448	205,778	2,316

19	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	7082,711	392,703	5,545
WACHIRPAS 2	10843,552	74,827	0,690
SMA1	6947,095	521,703	7,510
KAPAPAS2	13701,539	1544,697	11,274
VALL6	10770,278	926,612	8,603
ATCP01	4315,761	222,906	5,165
SJPI	13523,965	356,714	2,638
PON2	7471,222	416,587	5,576
RYCP2	6730,220	416,051	6,182
SRA1	9471,451	487,760	5,150

22	FRAP Promedio (μmol/L)	Desviación estándar	D.E relativa
SECP2	6393,454	231,961	3,628
WACHIRPAS 2	11505,974	1140,004	9,908
SMA1	5032,408	750,962	14,923
KAPAPAS2	14003,335	1532,042	10,941
VALL6	8118,629	287,727	3,544
ATCP01	3512,016	327,351	9,321
SJPI	9633,823	1030,506	10,697
PON2	5074,761	401,939	7,920
RYCP2	5800,261	439,341	7,575
SRA1	8476,608	225,171	2,656

Anexo 6: Descripción de tuberías

Tabla 9.5 Descripción de tuberías de agua

Tramo	Caudal (GPM)	Diámetro (pulgadas)	Velocidad (ft/s)	J corregido (ft H ₂ O/100ft tubería)	LONGITUDES				Altura geométrica (ft)	Altura total incluyendo pérdidas (ft)	Accesorios
					Longitud de tubería (ft)	Pérdidas en tubería (ftH ₂ O)	Pérdidas por accesorios (ft)	Longitud total de pérdidas (ft)			
AB	4,37	3/4	3,175	9,2493	4,32	0,400	5,25	5,65	3,28	8,93	4 codos r.l 90°
CD	0,78	1/2	1,275	2,7344	4,66	0,127	3,94	4,06	0,16	4,22	4 codos r.l 90°
IJ	0,18	1/4	1,177	5,2739	9,12	0,481	1,97	2,45	4,10	6,55	3 codos r.l 90°
JK	0,60	1/2	0,981	1,6821	20,17	0,339	5,91	6,24	1,64	7,88	6 codos r.l 90°
JL	0,78	1/2	1,275	2,7344	4,08	0,112	5,25	5,36	1,8	7,16	1T+2codos r.l 90°
MN	2,04	3/4	1,484	2,2623	4,32	0,098	5,25	5,35	1,64	6,99	4 codos r.l 90°

Tabla 9.6 Descripción de tramos y bombas para tuberías de agua

Bomba	Tramo	CAUDAL (kg/h)	Pérdida de carga (ft)
I1	AB	1290,30	2636,37
I2	CD	230,30	1247,31
	LJI	283,45	4048,16
I3	LJK	407,46	4442,42
I8	MN	603,22	2063,02

Tabla 9.7 Descripción tuberías de vapor

Tramo	Caudal [Lb/h]	Diámetro de alta presión (PG)	Diámetro de baja presión (PG)	Diámetro de diseño (PG)	Alta presión [PSI]	Baja presión [PSI]	Pérdidas [PSI]	Longitud de tubería (ft)	Longitud equivalente por pérdidas por accesorios [ft]	Longitud equivalente total [ft]	Caida de presión total [PSI]	Accesorios
EF	388,1	3/4	3/4	3/4	8,40	10,08	10,08	9,86	5,63	15,49	1,56	3 codos r.l 90°
FG	89,8	1/4	1/4	1/4	9,80	11,76	11,76	5,82	1,25	7,07	0,83	2 codos r.l 90°
FH	298,3	3/4	3/4	3/4	4,90	5,88	5,88	26,57	7,50	34,07	2,00	1T+ 2 codos r.l 90°

Tabla 9.8 Descripción de tramos para tuberías de vapor

Tramos	Caída de presión (PSI)	Caudal (Lb/h)	
EFG	2,39	477,96	
EFH	3,56	686,46	
Parámetros diseño (factor de seguridad:1,3)	4,63	405,15	kg/h

Tabla 9.9 Descripción tuberías de la línea de elaboración de infusión

Tramo	Caudal (GPM)	Diámetro (PG)	Velocidad (ft/s)	J (ft fluido/100ft tubería)	LONGITUDES				Altura geométrica(ft)	Altura total incluyendo pérdidas (ft)	Accesorios
					Longitud de tubería (ft)	Pérdidas en tubería (ftH ₂ O)	Pérdidas por accesorios (ft)	Longitud total de pérdidas (ft)			
T1	4,47	4	0,114	0,002	3,35	0,000	27,56	27,56	1,24	28,80	4 codos r.l 90°
T2	4,33	3/4	3,143	6,005	3,61	0,217	5,25	5,47	1,24	6,71	4 codos r.l 90°
T3	4,53	3/4	3,289	6,529	4,53	0,296	5,25	5,55	0,66	6,21	4 codos r.l 90°
T4	4,53	3/4	3,289	6,529	4,40	0,287	5,25	5,54	3,12	8,65	4 codos r.l 90°

Tabla 9.10 Descripción de tramos de la línea de elaboración de infusión

Bomba	Tramo	Caudal (kg/h)	Pérdida de carga (ft)
I4	T1	1319,82	37,44
I5	T2	1277,30	8,72
I6	T3	1336,36	8,07
I7	T4	1336,36	11,25