

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍA**

**CARRERA DE QUIMICA INDUSTRIAL**



**PROYECTO DE GRADO**

**PARA OPTAR EL TITULO DE LICENCIADO EN QUIMICA INDUSTRIAL**

**CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES, OBTENIDOS A NIVEL  
LABORATORIO Y PILOTO PARA EL CONTROL DE AFIDOS**

**POSTULANTE: Juan José Torrez Mamani**

**TUTOR: Dra. Lourdes Vино Nina**

**LA PAZ – BOLIVIA**

**2012**

**PROYECTO DE GRADO**  
**PARA OPTAR EL TITULO DE LICENCIADO EN QUIMICA INDUSTRIAL**  
**CARACTERIZACION FISICOQUIMICA DE LOS ACEITES ESENCIALES, OBTENIDOS A NIVEL**  
**LABORATORIO Y PILOTO PARA EL CONTROL DE AFIDOS**

**POSTULANTE:** Juan José Torrez Mamani

**TUTOR:** Dra. Lourdes Vino Nina

**TRIBUNALES:**

Lic. Patricia Duchén Uriarte .....

Dra. María Monasterios Arza .....

Ing. Miguel Yucra Rojas .....

**DIRECTOR DE CARRERA:**

Lic. Osvaldo Valenzuela Méndez .....

LA PAZ – BOLIVIA

2012

## **AGRADECIMIENTO**

Mi reconocimiento a la Universidad Mayor de San Andrés, Carrera de Química Industrial por haberme ayudado en mi formación profesional.

Mi agradecimiento a la Dra. Lourdes Vino Nina, por su valiosa colaboración en el asesoramiento de este trabajo, quien con mucha dedicación y empeño me colaboro en la culminación de la etapa más importante de mi vida.

A los fondos de investigación concursables de DIPGIS-UMSA, PROYECTO DE INVESTIGACIÓN CIENTIFICA “OBTENCION DE ACEITES ESENCIALES A NIVEL PILOTO PARA EL CONTROL DE AFIDOS EN CULTIVOS DE INTERES PRODUCTIVO” IDH, resolución HCU No. 235/10.

También expreso mi gratitud a mi familia por el apoyo incondicional que me brindó, especialmente mi madre.

A todos ellos ¡mil gracias!

## CONTENIDO

<b>1.-Generalidades/1</b>
1.1.-Introducción/1
1.2.-Antecedentes/2
1.3.-Justificación/11
1.4.-Objetivo general/12
1.5.-Objetivos específicos/12
<b>2.-Marco teórico/13</b>
2.1.-El aceite esencial y sus propiedades/13
2.1.1.-Definición/13
2.1.2.-Clasificación/13
2.1.3.-Localización en las plantas/14
2.1.4.-Colecta del espécimen aromático/15
2.1.5.-Principales componentes de las esencias vegetales/15
2.1.6.-Propiedades físico químicas/16
2.1.7.-Rendimiento/16
2.2.-Aspectos generales de las especies vegetales a estudiar/18
2.2.1.-Descripción de la Khoa ( <i>Satureja boliviana</i> )/18
2.2.1.1.-Composición de la esencia natural de Khoa/19
2.2.1.2.-Propiedades y su aprovechamiento de la Khoa/20
2.2.2.-Descripción de la Muña ( <i>Minthostachys andina</i> )/21
2.2.2.1.-Composición del aceite de Muña/21
2.2.2.2.-Propiedades de la Muña/21
2.2.3.-Descripción del Ajenjo ( <i>Artemisia absinthium</i> )/23
2.2.3.1.-Composición del aceite esencial de Ajenjo/24
2.2.3.2.-Propiedades del ajenjo/25
2.3.-Principios básicos de la extracción de aceites esenciales/25
2.3.1.-Definición/25

2.3.2.-Clasificación de las técnicas de extracción de aceites esenciales/	25
2.3.3.-Extracción de aceite esencial por arrastre de vapor/	26
2.3.3.1.-Arrastre de vapor/	26
2.3.3.2.-Escala laboratorio/	26
2.3.3.3.-Escala piloto/	28
2.4.-Demanda de aceites esenciales/	29
2.4.1.-Mercado de los aceites esenciales/	30
2.5.-Biocidas/	30
2.5.1.-Importación de plaguicidas de uso agrícola a nivel nacional/	31
2.6.-Los pulgones y los daños que ocasiona/	32
2.6.1.-Daños que causa el áfido/	33
2.6.2.-Control ecológico de plagas/	33
2.7.-Dosis letal, concentración letal/	34
2.8.-Análisis económico/	35
3.-Estudio técnico/	36
3.1.-Definición del producto/	36
3.2.-Materia prima e insumos/	36
3.2.1.-Localización de las zonas de colecta de materia prima/	36
3.2.2.-Materia prima/	37
3.2.3.-Insumos/	37
3.3.-Proceso extractivo a escala piloto y sus fundamentos/	38
4.- Metodología/	43
4.1.-Propiedad fisicoquímica y rendimiento de los aceites esenciales extraídos en laboratorio/	43
4.1.1.-Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales/	46
4.1.2.-Rendimiento/	50
4.2.-Efecto biocida del aceite esencial de khoa, sobre áfidos en laboratorio/	51
4.3.-Caracterización fisicoquímica del aceite de khoa, extraído a escala piloto/	52
4.4.-Inversión del proyecto/	52
4.5.-Análisis de resultados/	52

## **5.-Resultados/54**

- 5.1.-Resultados de la obtención de aceites esenciales a nivel laboratorio/54**
  - 5.1.1.-Establecimiento del tiempo adecuado en la extracción de aceites esenciales/55**
  - 5.1.2.-Rendimiento en aceite esencial por especie y procedencia/56**
  - 5.1.3.-Expresión de los resultados del rendimiento de los aceites esenciales/58**
  - 5.1.4.-Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales/59**
    - 5.1.4.1.-Características organolépticas de los aceites esenciales/59**
      - 5.1.4.1.1.-Resultados de la determinación del color, según NB 75020/59**
      - 5.1.4.2.-Propiedades físicas de los aceites esenciales/60**
      - 5.1.4.3.-Propiedades químicas de los aceites esenciales/70**
- 5.2.-Efecto biocida del aceite de Khoa, sobre áfidos, en laboratorio (in vitro)/75**
- 5.3.-Resultado de la extracción de esencia vegetal a escala piloto/79**
  - 5.3.1.-Extracción del aceite de Khoa, proveniente de Ambana a escala piloto/79**
  - 5.3.2.-Curva de extracción del aceite de Khoa (%) con relación al tiempo (min)/82**
  - 5.3.3.-Caracterización fisicoquímica del aceite de Khoa a escala piloto/83**
    - 5.3.3.1.-Característica organoléptica del aceite de Khoa/83**
      - 5.3.3.1.1.-Resultado de la determinación del color, según NB 75020/83**
      - 5.3.3.2.-Propiedades físicas del aceite de Khoa/84**
      - 5.3.3.3.-Propiedades químicas del aceite de Khoa/87**
    - 5.3.4.-Descripción del equipo de destilación a escala piloto/88**
    - 5.3.5.-Balance de materia/97**
      - 5.3.5.1.-Balance del proceso de obtención del aceite de Khoa, de Ambana/97**
      - 5.3.5.2.-Proceso térmico en el intercambiador de calor/104**
      - 5.3.5.3.-Localización y tamaño de la planta de extracción a escala piloto/109**
  - 5.4.-Análisis económico/112**
    - 5.4.1.-Inversiones fijas, diferidas y capital de trabajo/112**
    - 5.4.2.-Costo de producción o fabricación/118**
    - 5.4.3.-Costo unitario/118**
    - 5.4.4.-Beneficio neto/119**

**6.-Conclusiones /123**

**7.-Recomendaciones/125**

**8.-Bibliografía/126**

**9.-Anexos/133**

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b>	Imágenes del <i>Clinopodium bolivianum</i> ó <i>Satureja boliviana</i>	<b>19</b>
<b>Figura 2</b>	Imagen de la <i>Minthostachys andina</i>	<b>21</b>
<b>Figura 3</b>	Imágenes de la <i>Artemisia absinthium</i>	<b>23</b>
<b>Figura 4.</b>	Equipo de destilación por arrastre con vapor de agua	<b>27</b>
<b>Figura 5.</b>	Imágenes de los pulgones ó áfidos	<b>32</b>
<b>Figura 6</b>	Diagrama del proceso de destilación del aceite esencial a escala piloto.	<b>39</b>
<b>Figura 7</b>	Flujograma del balance de materia de la extracción de aceite esencial de Khoa	<b>43</b>
<b>Figura 8</b>	Flujograma del balance de materia de la extracción de aceite esencial de Muña	<b>44</b>
<b>Figura 9</b>	Flujograma del balance másico de la extracción de aceite esencial de Ajenjo	<b>45</b>
<b>Figura 10</b>	Rendimiento en volumen de aceites esenciales por tiempo de extracción por arrastre de vapor a escala laboratorio	<b>55</b>
<b>Figura 11</b>	Escala de colores para la determinación del color de los aceites esenciales	<b>60</b>
<b>Figura 12</b>	Valor de las propiedades químicas de los aceites esenciales extraídos a escala laboratorio: Índice de acidez, éster y contenido en fenoles (% en volumen)	<b>75</b>
<b>Figura 13</b>	En a), se observa la serie de Cajas petri con las diferentes concentraciones de aceites esencial. En b), se muestra la forma en la que se evaluaba y controlaba pulgones vivos y muertos	<b>76</b>
<b>Figura 14</b>	Número pulgones muertos por tiempo de evaluación: 0, 8, 16, 24, 36, 48 horas en laboratorio	<b>76</b>

<b>Figura 15</b>	Probit de mortalidad de pulgones dosificados con aceite de Khoa en laboratorio por el logaritmo de la concentración de 1/10, 1/100, 1/1000, 1/10000 y 1/100000 en agua	<b>77</b>
<b>Figura 16</b>	Correlación lineal ( $y=ax+b$ ), de Probit de la mortalidad de áfidos expuestos a diferentes mezclas (Log concentración) según tiempo (8,16,24,36,48 horas) de evaluación de aceite esencial de Khoa de Ambaná en laboratorio	<b>78</b>
<b>Figura 17</b>	Condiciones de operación consumibles establecidos para la extracción de aceite esencial de khoa a escala piloto desde 1 a 8 Kg (hojas) de materia prima a una presión de 1 bar y temperatura en la cámara de extracción de 110°C	<b>80</b>
<b>Figura 18</b>	Datos de operación en rendimiento y residuos resultantes después de la extracción de material prima (hojas de Khoa) de 1 a 8Kg en el extractor a escala piloto (capacidad 100L)	<b>81</b>
<b>Figura 19</b>	Rendimiento del aceite de Khoa (%), a diferentes cantidades de vegetal	<b>82</b>
<b>Figura 20</b>	Foto de la selección de impurezas, en la Carrera de Química Industrial de la UMSA	<b>88</b>
<b>Figura 21</b>	Foto del equipo para ablandar agua, en la Carrera de Química Industrial	<b>89</b>
<b>Figura 22</b>	Foto del generador de vapor, en la Carrera de Química Industrial	<b>91</b>
<b>Figura 23</b>	Foto del puente de regulación de presión, en la Carrera de Química Industrial	<b>93</b>
<b>Figura 24</b>	Foto del equipo extractor, en la Carrera de Química Industrial	<b>94</b>

<b>Figura 25</b>	Foto de la separación, en la Carrera de Química Industrial	<b>96</b>
<b>Figura 26</b>	Esquema del balance de la unidad (Extractor)	<b>99</b>
<b>Figura 27</b>	Esquema del balance general del proceso de extracción	<b>102</b>
<b>Figura 28</b>	Zonificación del condensador	<b>104</b>
<b>Figura 29</b>	Esquema del intercambiador de calor en contra corriente	<b>107</b>
<b>Figura 30</b>	Curva de referencia, del enfriamiento del vapor de agua	<b>108</b>
<b>Figura 31</b>	Ubicación de la planta de extracción a escala piloto	<b>111</b>
<b>Figura 32</b>	Grafica que establece la zona de pérdidas y ganancias	<b>121</b>

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Rendimiento de algunos aceites esenciales en base seca	<b>17</b>
<b>Cuadro 2.</b> Producción de aceites esenciales en Estados Unidos (Toneladas métricas)	<b>30</b>
<b>Cuadro 3.</b> Importación de plaguicidas, del 2004 al 2010 (Expresado en toneladas)	<b>31</b>
<b>Cuadro 4.</b> Datos experimentales de la extracción de aceites, a nivel laboratorio	<b>54</b>
<b>Cuadro 5.</b> Rendimiento (n=5) en aceite esencial de Khoa, proveniente de Sorata	<b>56</b>
<b>Cuadro 6.</b> Rendimiento (n=5) en aceite de Khoa, proveniente de Ambana	<b>57</b>
<b>Cuadro7.</b> Rendimiento (n=5) en aceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana	<b>57</b>
<b>Cuadro 8.</b> Rendimiento (n=5) en aceite esencial de Muña, proveniente de Ambana	<b>57</b>
<b>Cuadro 9.</b> Resultados del rendimiento de los aceites esenciales a nivel laboratorio	<b>58</b>
<b>Cuadro 10.</b> Resultados de la caracterización organoléptica	<b>59</b>
<b>Cuadro 11.</b> Rango de colores, según las soluciones patrones	<b>59</b>
<b>Cuadro 12.</b> Aceite de Khoa, proveniente de Sorata	<b>60</b>
<b>Cuadro 13.</b> Aceite de Khoa, proveniente de Ambana	<b>61</b>
<b>Cuadro 14.</b> Aceite de Ajenjo, proveniente de Ambana	<b>61</b>
<b>Cuadro 15.</b> Aceite de Muña, proveniente de Ambana	<b>61</b>
<b>Cuadro 16.</b> Resultados de la densidad relativa a 20°C	<b>61</b>

<b>Cuadro 17.</b> Aceite esencial de Khoa, proveniente de Sorata	<b>62</b>
<b>Cuadro 18.</b> Aceite esencial de Khoa, proveniente de Ambana	<b>62</b>
<b>Cuadro 19.</b> Aceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana	<b>63</b>
<b>Cuadro 20.</b> Aceite esencial de Muña, proveniente de Ambana	<b>63</b>
<b>Cuadro 21.</b> Resultados del residuo de evaporación a 55°C	<b>63</b>
<b>Cuadro 22.</b> Rango de temperaturas para cada aceite esencial	<b>64</b>
<b>Cuadro 23.</b> Rango de volúmenes para cada aceite esencial	<b>65</b>
<b>Cuadro 24.</b> Aceite de Khoa, proveniente de Ambana	<b>66</b>
<b>Cuadro 25.</b> Aceite de Khoa, proveniente de Sorata	<b>66</b>
<b>Cuadro 26.</b> Aceite de Ajenjo, proveniente de Ambana	<b>67</b>
<b>Cuadro 27.</b> Aceite de Muña, proveniente de Ambana	<b>67</b>
<b>Cuadro 28.</b> Promedio del índice de refracción de los diferentes aceites Esenciales	<b>67</b>
<b>Cuadro 29.</b> Aceite esencial de Khoa, proveniente de Ambana	<b>68</b>
<b>Cuadro 30.</b> Aceite esencial de Khoa, proveniente de Sorata	<b>68</b>
<b>Cuadro 31.</b> Aceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana	<b>68</b>
<b>Cuadro 32.</b> Aceite esencial de Muña, proveniente de Ambana	<b>68</b>
<b>Cuadro 33.</b> Resultados del poder rotatorio	<b>69</b>
<b>Cuadro 34.</b> Resultados con el Alcohol Etílico	<b>69</b>
<b>Cuadro 35.</b> Resultados con el metanol	<b>69</b>
<b>Cuadro 36.</b> Resultados con el éter Etílico	<b>69</b>
<b>Cuadro 37.</b> Resultados con el normal hexano	<b>70</b>

<b>Cuadro 38.</b> Índice de acidez del aceite de Khoa, proveniente de Sorata	<b>70</b>
<b>Cuadro 39.</b> Índice de acidez del aceite de Khoa, proveniente de Ambana	<b>70</b>
<b>Cuadro 40.</b> Índice de acidez del aceite de Ajenjo, proveniente de Ambana	<b>70</b>
<b>Cuadro 41.</b> Índice de acidez del aceite de Muña, proveniente de Ambana	<b>70</b>
<b>Cuadro 42.</b> Resultados del índice de Acidez	<b>71</b>
<b>Cuadro 43.</b> Índice de éster de aceite esencial de Khoa, proveniente de Sorata	<b>71</b>
<b>Cuadro 44.</b> Índice de éster de aceite esencial de Khoa, proveniente de Ambana	<b>72</b>
<b>Cuadro 45.</b> Índice de éster de aceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana	<b>72</b>
<b>Cuadro 46.</b> Índice de éster de aceite esencial de Muña, proveniente de Ambana	<b>72</b>
<b>Cuadro 47.</b> Promedio del índice de Ester de aceite esenciales	<b>73</b>
<b>Cuadro 48.</b> Porcentaje de fenoles en el aceite de Khoa, proveniente de Ambana	<b>73</b>
<b>Cuadro 49.</b> Porcentaje de fenoles en el aceite de Khoa, proveniente de Ambana	<b>73</b>
<b>Cuadro 50.</b> Porcentaje de fenoles en el aceite de Ajenjo, proveniente de Ambana	<b>74</b>
<b>Cuadro 51.</b> Porcentaje de fenoles en el aceite de Muña, proveniente de Ambana	<b>74</b>
<b>Cuadro 52.</b> Promedio del contenido de fenoles (%) en los aceites esenciales	<b>74</b>
<b>Cuadro 53.</b> Datos experimentales de la extracción de aceites esencial a escala piloto	<b>79</b>

<b>Cuadro 54.</b> Consumo de combustible (G.L.P.) en la caldera	<b>80</b>
<b>Cuadro 55.</b> Consumo de refrigerante (agua) en el condensador	<b>81</b>
<b>Cuadro 56.</b> Flujo de salida del vapor (agua con aceite) condensado	<b>82</b>
<b>Cuadro 57.</b> Temperaturas del proceso	<b>82</b>
<b>Cuadro 58.</b> Densidad absoluta del aceite de Khoa, obtenido a escala piloto	<b>83</b>
<b>Cuadro 59</b> Resultados de la caracterización organoléptica	<b>83</b>
<b>Cuadro 60.</b> Rango de colores del aceite esencial de khoa, según las soluciones patrón	<b>83</b>
<b>Cuadro 61.</b> Aceite de Khoa, proveniente de Ambana a escala piloto	<b>84</b>
<b>Cuadro 62.</b> Aceite de Khoa, proveniente de Ambana, a escala piloto	<b>84</b>
<b>Cuadro 63.</b> Resultados del residuo de evaporación a 55°C	<b>84</b>
<b>Cuadro 64.</b> Rango de temperaturas para cada aceite esencial	<b>85</b>
<b>Cuadro 65.</b> Rango de volúmenes para cada aceite esencial	<b>85</b>
<b>Cuadro 66.</b> Índice de refracción del aceite esencial de <i>Satureja boliviana</i> , proveniente de Ambana, a escala piloto	<b>85</b>
<b>Cuadro 67.</b> Aceite esencial de Khoa, proveniente de Ambana, a escala piloto	<b>86</b>
<b>Cuadro 68.</b> Resultados con el Alcohol Etílico	<b>86</b>
<b>Cuadro 69.</b> Resultados con el metanol	<b>86</b>
<b>Cuadro 70.</b> Resultados con el éter Etílico	<b>86</b>
<b>Cuadro 71.</b> Resultados con el normal hexano	<b>87</b>
<b>Cuadro 72.</b> Aceite de Khoa, proveniente de Ambana, a escala piloto	<b>87</b>

<b>Cuadro 73.</b> Índice de éster del aceite de Khoa, proveniente de Ambana, a escala piloto	<b>87</b>
<b>Cuadro 74.</b> Contenido en fenoles del aceite de Khoa, de Ambana, a escala piloto	<b>87</b>
<b>Cuadro 75.</b> Resultados del contenido en fenoles del aceite de Khoa	<b>88</b>
<b>Cuadro 76.</b> Densidad absoluta del agua floral	<b>98</b>
<b>Cuadro 77.</b> Impurezas de la Khoa, proveniente de Ambana	<b>101</b>
<b>Cuadro 78.</b> Datos del proceso	<b>105</b>
<b>Cuadro 79.</b> Estructura de inversiones	<b>112</b>
<b>Cuadro 80.</b> Maquinaria y Equipo	<b>113</b>
<b>Cuadro 81.</b> Mano de obra	<b>114</b>
<b>Cuadro 82.</b> Material de Laboratorio y Equipos Instrumentales	<b>114</b>
<b>Cuadro 83.</b> Insumos	<b>117</b>
<b>Cuadro 84.</b> Costo de producción	<b>118</b>
<b>Cuadro 85.</b> Costos Totales Proyectados	<b>120</b>

## Índice de Anexos

<b>Anexo 1</b>	Preparación y determinación del contenido en fenoles de los aceites esenciales	<b>133</b>
<b>Anexo 2</b>	Recuento de áfidos con y sin vida, expuestos al aceite de Khoa, respecto al tiempo. Y exposición de los áfidos, expuesto al aceite de Khoa de diferentes concentraciones	<b>134</b>
<b>Anexo 3</b>	Dispositivo para la determinación del punto de congelación, según NB 75009	<b>135</b>
<b>Anexo 4</b>	Colecta, transporte y preparación de la materia prima ( <i>Satureja boliviana</i> )	<b>136</b>
<b>Anexo 5</b>	Vista interna del extractor de aceites esenciales y vista externa del condensador	<b>137</b>
<b>Anexo 6</b>	Diagrama tipo de curva de absorbancia, según NB 75015	<b>138</b>
<b>Anexo 7</b>	Curva de absorbancia del alcohol etílico en el espectrofotómetro. Y curva de absorbancia del etanol y el aceite esencial en el espectrofotómetro	<b>139</b>
<b>Anexo 8</b>	Soluciones de colores patrones para la determinación del color, y la escala de colores para la comparación visual con los aceites esenciales	<b>140</b>
<b>Anexo 9</b>	Equipos de destilación por arrastre con vapor de agua a nivel laboratorio	<b>141</b>
<b>Anexo 10</b>	En, a) Imagen del Refractómetro de mesa, que se ha utilizado, y en b) Imagen del Polarímetro de disco, que se ha utilizado	<b>142</b>
<b>Anexo 11</b>	Preparación de mezclas hidroalcohólicas, según NB 75004, e Imagen de la forma de valorar la solubilidad de los aceites esenciales	<b>143</b>
<b>Anexo 12</b>	En, a) Tabla de transformación de porcentajes provits (probability unit), y en b) Imagen de la Localidad de Ambana, de donde proviene la materia prima (Khoa), para la obtención de aceite de Khoa a escala piloto	<b>142</b>

## RESUMEN

El presente trabajo realiza la caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales de ajeno, Muña y Khoa escala laboratorio. El aceite esencial extraído de Khoa a escala piloto en la Carrera de Química Industrial (capacidad instalada, 100 litros) fue probado en su actividad biocida sobre pulgones en laboratorio. Los resultados han mostrado que en las zonas de colección (Ambana y Sorata) coexisten varias especies de Lamiaceas, el rendimientos en aceite esencial de *M. Andina* fue 1,2 %, *C. bolivianum* 2,4% y *A. absinthium* 0,85%. Las propiedades fisicoquímicas son características de cada especie, resultando el aceite de ajeno diferente en sus propiedades organolépticas (azul, amargo) en relación a Muña y Khoa que son similares (amarillo, agrio), así como el resto de medidas como acidez, densidad, etc. El aceite esencial de *C. bolivianum* extraído a nivel piloto ha mostrado diferentes características fisicoquímicas al del aceite extraído a escala laboratorio. La actividad biocida del aceite esencial de *C. bolivianum* a diferentes dosificaciones y tiempos de evaluación sobre pulgones (*Mizus persicae*), ha mostrado hasta las 8 horas una CL50% 1ml/5,8 L. Con respecto a la evaluación económica el precio de venta debe ser 40 Bs/10 ml de aceite crudo.

## Capítulo 1. Generalidades

### 1.1.- Introducción

Los aceites esenciales, son mezclas homogéneas de compuestos químicos orgánicos provenientes de la materia vegetal, y que es aprovechado por el hombre, quien aprendió a utilizarlas como aromatizantes en la alimentación, la cosmética y otras actividades propias de las culturas y la región del mundo donde se establecieron.

En nuestros días su consumo ha aumentado y de hecho la demanda, en especial por la industria farmacéutica y la alimentación. Sin embargo, existen otras áreas que por referencias propias de cada región o por la necesidad de encontrar productos alternativos que no dañen el medio ambiente y que aseguren inocuidad de los alimentos. Se han encontrado que los aceites esenciales, se constituyen en productos capaces de actuar como biocidas o bioplaguicidas.

Algunas plantas son utilizadas por los agricultores para repeler insectos y parásitos, como es el caso particular de la khoa que ahuyenta los gusanos de la papa (según pobladores, 2011) y el ajenojo con su característico olor se usa contra pestes. Antiguamente era utilizado como insecticida contra la polilla de ropa. Tiene secreciones de sus raíces, ejerciendo un efecto inhibitor sobre el crecimiento de las plantas cercanas. Es muy útil como repelente de insectos pero no alcanza con plantar sobre el borde de un área de cultivo.

Los cultivos son invadidos normalmente por los áfidos o pulgones, que se constituyen en un grupo muy extenso de insectos. Pertenecen al orden hemíptera, suborden homóptera (cicadelas, pulgones, moscas blancas y cochinillas) y forman la superfamilia Aphidoidea. Están distribuidos principalmente por las zonas templadas, habiéndose detectado unas 3.500 especies, de las cuales 500 son plagas de los cultivos. De todas ellas hay algunas que solo afectan a un solo cultivo (monófagas), y otras que lo hacen a gran número de ellos (polífagas).

Los pulgones son insectos chupadores, y están provistos de un largo pico articulado que clavan en el vegetal, y por él absorben los jugos de la planta. Segregan un líquido azucarado y

pegajoso por el ano denominado melaza, e impregna la superficie de la planta impidiendo el normal desarrollo de ésta.

Como método preventivo y técnico cultural se aconseja realizar tratamientos precoces, antes que la población alcance niveles altos. Para lo cual realizamos la colocación de mallas en las bandas de los invernaderos, y eliminación de malas hierbas y restos de cultivos del interior y a proximidades del invernadero. También se puede colocar trampas como trópicas amarillas. Las trampas engomadas amarillas y las bandejas amarillas con agua son atrayentes de las formas aladas, lo que ayuda en la detección de las primeras infestaciones de la plaga.

Entre los enemigos naturales de pulgones existen varias especies. El control biológico de pulgones ejercido por los parasitoides es realizado por especies del genero *Aphidius*. En general dentro de los depredadores de pulgones, destacan larvas y adultos de neurópteros (*Chrysoperiacamae* y *Chrysopa Formosa*), Coleópteros coccinélidos (*Coccinella septempuntata*), larvas de Dípteros y varios Himenópteros.

Cuando por la intensidad del daño, no se pueda alcanzar a controlar la plaga, en los tratamientos, se recomienda la utilización de productos con acción sistémica. La elección de la materia activa a utilizar dependerá de la especie de áfido plaga a controlar, ya que existen diferentes resistencias a los aficidas. Como materias activas pueden utilizarse: acefato, etiofencarb, fosfamidón, imidacloprid, metamidofos, pirimicarb, malatiónmetomilo e insecticidas pertenecientes al grupo de los piretroides (*Myzuspersicae*, es una de las especies que más ha desarrollado resistencias a los plaguicidas), aconsejándose la utilización, a partir de los meses invernales (Publicado por infoAgro el 2010).

## **1.2.-Antecedentes**

Zardini (1984), indica que la familia *Compositae* es la más rica del Reino Vegetal y la mejor representada en Argentina, según Zardini (1984), comprende 1460 especies espontáneas que habitan variados territorios fitogeográficos de ellas, 20% son

empleadas localmente con fines medicinales y además, con menor importancia, con fines alimenticios e industriales.

El aceite esencial de *Satureja boliviana* Briq., fue estudiado en Perú, Velasco (1994), por GC y GC/MS. Los componentes mayoritarios fueron: mentones (54.11%), isomenthone (15.12%), carvacrol (6.76%) e isopulegone (5.45%).

Figuroa (1995), indica que *Satureja boliviana*, es una especie espontanea del altiplano y de sus valles conocida como Khoa, empleada para el tratamiento de reumatismo contra la migraña, anemia, aumenta el flujo lácteo, curan la tortícolis, remedio contra mareos, nauseas y vómitos. El aceite esencial obtenido de la planta entera fresca por arrastrarse de vapor es traslucido con aspecto límpido de olor característico a menta y sabor alcanforaceo. De trescientos gramos de muestra, extraída, durante 95 minutos, se obtuvieron 6,6 ml equivalentes a un rendimiento del 2,2%(V/P). Los componentes principales del aceite fueron identificados por cromatografía de gases. La composición del aceite es relativamente compleja; presenta unos 25 componentes principales, los componentes mayoritarios del aceite se han identificado como  $\alpha$ -pineno 1,29% isomentona 33,61% pulegona 9,79% carvacrol 11,14 % (1,85%). Muestra una DL-50 de 9,0 ppm contra la Artemia salina, tiene actividad bacteriana de alto espectro y actividad antimicótica. No presenta actividad insecticida contra larvas de *Aedes aegypti*, sin embargo presenta actividad contra huevos de *Triatoma infestans* y ninguna contra larvas, (vinchuca). De 150 gramos de muestra extraída, durante 100 minutos, se obtuvieron 1,62 ml equivalente a un rendimiento del 1,1%(V/P). Los componentes principales del aceite fueron identificados por cromatografía de gases. Contiene unos 10 componentes principales como: carvacrol (22,7%), .R (-) carvona (16,38%) limoneno (17,39%). Este presenta también una elevada DL-50 de 1,8 ppm contra la artemia salina, tiene actividad bacteriana de alto espectro y actividad antimicótica contra dermatofitos y hongos saprofitos. Presenta actividad insecticida

contra larvas de *Aedes aegypti* y actividad contra huevos larvas de *Triatoma infestans* (vinchuca).

Urrunaga et al (1995), ha realizado el estudio Botánico, Etnobotánico y Físico químico de la *Satureja boliviana* cuyo aceites esencial tuvo una densidad de 0,9247 a 20° C (experimental) y rendimiento de 1,03%.

Vituro et al (2000) estudian el aceite esencial obtenido de las partes aéreas de *Satureja parvifolia* y *S. boliviana* de Argentina fueron analizados por GC-MS y GC-FID. Se han identificado 56. Los componentes mayoritarios fueron en *S. parvifolia* piperitenone oxide, en *S. boliviana* posee  $\gamma$ -terpinene,  $\beta$  caryophyllene, germacrene-D, bicyclgermacrene, l, 8 cineol and linalool.

Lizárraga et al (2004), señala que la *Satureja boliviana* (Lamiaceae) (planta herbácea Aromática) conocida como “Martín -muña” usada en medicina folclórica por las poblaciones nativas del sudeste americano. En los análisis de las partes aéreas de especímenes colectados en Tucuman, Argentina, mostraron los compuestos fenólicos mayoritarios como los flavonoides: kaempferol 3-O-glucósido, kaempferol 3-O-xilosil glucósido, kaempferol 7-O-ramnósido y quercetina 3-O-soforósido.

En Argentina, Hernández et al (2005), usan la *S. boliviana* que crece en las provincias de San Luis, Tucuman, Salta y Jujuy. Examinó la actividad antimicrobiana del extracto total y las fracciones de cuatro (n-hexano, cloroformo, acetato de etilo y agua) contra cuatro cepas de colección ATCC29212, *E. faecalis*, *S. aureus*29213, *E.coli* 25922 y *Ps. Aeruginosa* 27853 y dos cepas clínicamente aisladas, *Shigella sonnei* y *Salmonella enteritidis*. El efecto inhibitor de la *S. boliviana*. frente a los microorganismos ensayados justificaría el uso de esta planta popular, ya producirían menos efectos colaterales y con menos frecuencia resistencia microbiana en comparación con antibióticos semi sintéticos.

Según Agruco-Compas (2007), entre las especies arbustivas, presentes en biodiversidad del Municipio de Sipe sipe (Quillacollo, Cochabamba) se destacan la **yana muña** (*Satureja boliviana*), la **q'owa muña** (*Minthostachys andina*), asimismo, se le atribuyen propiedades a la Yana muña (Ramas tiernas) capacidad para calmar el dolor de estómago cuando se usa hervidas y como baños. A la Q'owa muña (Ápice de la planta) se le atribuyen similar propiedad.

Bascope et al (2007), hizo un resumen de la investigación relacionada con las plantas medicinales reportadas por la asociación de medicina tradicional de Apillapampa Bolivia (AMETRAC), cubre información fotoquímica reportada para las 158 especies de plantas medicinales hasta septiembre del 2005. Se indica que el 16% han sido extensamente estudiadas (grupo A), 10 % moderadamente estudiada, 17 % vagamente estudiadas (B) y cerca al 45 % (C) no ha sido estudiada en lo absoluto. Entre las plantas que tienen algunos estudios solo el 46 % han sido sometidos a algún tipo de ensayos de actividad biológica. Así, señala que existen 9 especies de Lamiaceae con 5,7% de presencia. Sobre *S. boliviana* (B) existirían 7 estudios diferentes, entre ellos de sus aceites esenciales que indican presencia de fenoles, terpenos y flavonoides a las que se le atribuyen propiedades citoprotectoras a nivel gástrico, antitumoral y antiviral. *Minthostachys andina* (B) poseería 3 estudios que señalan presencia aceites esenciales.

Según la Subdivisión de Promoción de Inversión y Tecnología del Viceministerio de Ciencia y Tecnología (2007). Las plantas medicinales con mayor potencialidad, grupo A, está *Artemisia absinthium* L. o Ajenjo, reconocido como estimulante del apetito y antiparasitario. En el grupo C, la *Satureja boliviana* denominada Muña, Khoa se reconoce como antiparasitario, insecticida, preservante de comida, no está en la lista *Minthostachys andina*. La clasificación indica que A, significa que posee mercado y estudios suficientes. El grupo C, significa que no tiene mercado, ni estudios, pero con efectos reportados por la etnomedicina como de gran interés para el mercado.

De varias poblaciones de la provincia de Tucumán, Argentina, Viturro et al (2007), estudian las especies *Satureja boliviana* (Benth.) Briq., *S. odora* Gris. (Epl.) YS. *Parvifolia* Phil. (Epl.), para determinar las variaciones en la composición de sus aceites esenciales. *S. boliviana* de Las Tacanas y Las Juntas presentan uniformidad en sus compuestos volátiles en *E*-cariofileno y germacreno-D. El aceite esencial de *S. odora* de Tafí del Valle tiene idéntico compuesto mayoritario, *E*-citral, que la *S. parvifolia* de la misma zona. Las poblaciones de *S. parvifolia* de Abra del Infiernillo y Los Cardones tienen compuestos volátiles mayoritarios de carvacrol y acetato de carvacrol, detectándose en la última población piperitenona, que está ausente en el aceite esencial del Abra del Infiernillo

Escandialaris et al (2007), señala que la "peperina", *Minthostachys mollis* (Kunth) Griseb. (Lamiaceae), es un arbusto aromático nativo de Sudamérica (Colombia, Venezuela, Brasil, Ecuador, Perú, Bolivia y Centro de Argentina), que habita entre los 500 y 3500 m. La infusión de sus hojas y flores es comúnmente utilizada como antiespasmódica, anti diarreica, antiemética, antirreumática, carminativa, entre otras. Ha sido introducida en el mercado de Argentina y de Córdoba en particular, para su comercialización en macetas. Con el mismo fin y bajo el mismo nombre vernáculo, se comercializa una "peperina exótica", *Calaminthanepeta*(L.) *Savisubsp. nepeta*(Lamiaceae), herbácea perenne, originaria de la cuenca del Mediterráneo. Estos taxones de aroma semejante, comparten compuestos químicos como mentol, pulegona, piperitona, pero difieren en sus caracteres morfológicos. Lo que indica que se deben destacar los caracteres diagnósticos vegetativos y reproductivos útiles para el reconocimiento e individualización de ambas especies. Las diferencias más notables se presentan en las formas de las láminas y bordes foliares, tamaño, color y forma de las corolas, y en el número de flores por inflorescencia. Estos caracteres se ilustran mediante esquemas y fotos con referencias de fácil interpretación.

Agua sustentable (2008), indica que Bolivia como en el resto de países de la región Neo-tropical las condiciones micro climáticas se caracterizan por la estacionalidad de época seca (mayo a septiembre) y época de lluvias de octubre a abril) que coincide con los días de mayor radiación solar. En el valle de Choquecota (LA Paz) se la vegetación descrita como la base estructural y funcional de los ecosistemas terrestres es intuitivo pensar que estos cambian con la altitud como resultado de la modificaciones de temperatura, precipitación y radiación solar, así, en el valle de La Paz, de fuerte afinidad con el valle de Palca se han reportado cerca de 800 especies, de fuerte afinidad andina templada donde desarrollan *Minthostachys andina*, *Minthostachys acutifolia*, *Clinopodium bolivianum* (khoa).

Lito (2010), señala que la "Muña" es una planta que en la sierra del Perú, tiene múltiples usos: como condimento, para repeler insectos de los cultivos, proteger las cosechas de la putrefacción, aliviar malestares gastrointestinales, en tratamiento de tumores, inflamaciones, asma, halitosis, entre otros. Se investigó la efectividad antibacteriana del aceite esencial de *Minthostachys mollis* "muña" frente a bacterias relacionadas patologías periapicales crónicas de origen endodóntico. El aceite esencial de *Minthostachys mollis* "muña" puro y en sus diluciones presentó efectividad antibacteriana tanto cuantitativamente como cualitativamente mayor al alcohol etílico al 70º y menor al Paramonoclorofenol alcanforado frente a las muestras bacterianas en estudio.

Varias unidades de *Minthostachys andina* (Brett.) fueron evaluados por su potencial morfo génico y condiciones de cultivo in vitro. Se usaron yemas axilares de especímenes de dos años y se dejaron en medio MS-suplementado con 4.4 o 8.8 µM BA and 0.054 µM NAA. Desarrollaron, produciendo raíces adventicias, al poseer antioxidantes se previene el pardeamiento y al contrario se favoreció la organogénesis (José Antonio Castillo. Miguel Jordán, 1997).

Respecto del aceite de muña (*Minthostachys andina*) Manrique, demuestra la efectividad del aceite de muña para suprimir la germinación de una variedad de patata

nativo, esto debido a que es capaz de suprimir por la quema de tejido tierno el retoño. Sin embargo, una vez pasado el efecto no existe el problema en la reanudación del crecimiento. Para el consumo no hay olores extraños, detectados por el panel con patatas cocidas tratados con aceite de muña.

El INIA publica, un estudio en que preparan plantas medicinales chachacoma y muña 10 g de la planta fresca en 1 litro de agua hervida (infusión). Administración de 10 ml por animal (alpacas). La planta medicinal chachacoma presenta una mayor efectividad (0%) frente a la muña que presente una mortalidad del 3,33% en relación al grupo testigo que alcanzó el 23,33%. La utilización de las plantas medicinales para el control de la colibacilosis coadyuva en la no presentación de la enfermedad; sin embargo, no influye en la ganancia de peso, ello se debe a la condición de la pradera.

Según Suárez, *Minthostachys mollis* (Kunth) Griseb. o muña (a saber con 12 especies), es un arbusto perenne que crece naturalmente en las región andina de Colombia; esta especie es valorada por sus propiedades medicinales para control de larvas de insectos transmisores de enfermedades; sin embargo, las poblaciones naturales de esta planta han sido fuertemente reducidas por acción antrópica, por lo tanto, es necesario generar tecnologías de propagación que permitan la recuperación y conservación de las poblaciones naturales. En el estudio se encontró un efecto negativo de la oscuridad en el proceso de germinación y no se observó efecto del AG3 sobre la germinación de *M. mollis* en presencia de la luz. Los porcentajes de germinación obtenidos en los tratamientos de iluminación fueron superiores al 80% sobresaliendo el tratamiento de luz roja que arrojó los mejores resultados tanto en el porcentaje como en la velocidad de germinación. Los resultados indican que la germinación en *M. mollis* es dependiente de la luz debido a que sus semillas son fotoblásticas positivas.

EL Ajenjo, es una planta nativa del viejo mundo, es ampliamente cultivada en ambos hemisferios hasta una altura de 4000 msnm. Requiere de clima templado. el aceite esencial (1-2%) contiene felandreno, a-pineno, tuyona (3-12%), tuyol y derivados (alcohol, isovalerat,

palmitato), bisaboleno, camfeno, cadineno, felandreno, nerol y azulenos<sup>4,6,9,10</sup>, absintina, isoabsintina<sup>1</sup>, 1,4-dimetil-7-etilazuleno; 7-etil-3,6-dihidro-1,4-dimetilazuleno. 7-etil-5,6-dihidro-1,4-dimetilazuleno<sup>2,6</sup>-3-O-b-D-glucopiranosido, 3-O-rutósido<sup>3</sup>; además contiene taninos, resinas, almidón, malatos, nitrato de potasio y otras sales, (Ruiz .1993).

Cano (2002), indica que el Ajenjo (*Artemisia absinthium*), proveniente de los estados de Veracruz, Michoacán, Chispas y el Distrito federal, en México, se recomienda para problemas digestivos y la bilis, para lo cual se prepara un cocimiento que se ingiere por la mañana, también ayuda a mejorar la digestión, y fortalecer el estómago, mediante la cocción endulzada con miel de abeja. Otros usos comunes son para tratar la tos y gripe, en los cuales se recomienda tomar como te, la infusión resultante de las hojas hervidas.

Para el rendimiento de aceite esencial de ajenjo se observa que no existe diferencia significativa en el factor altitud, con un valor promedio de 0,0486%, valor bajo comparado con el reportado que se encuentra con el rango de 1-2%.

En cuanto a la actividad productiva de Bolivia se ha caracterizado principalmente por ser de tipo extractiva, con escasa participación en la conformación del PIB sector industrial de productos de elevado valor agregado. Este comportamiento histórico ha llevado a considerar al país como un país minero (productor de diversos minerales) y agropecuario.

Bajo este contexto y reconociendo esta situación, la Universidad Mayor de San Simón y la Corporación Regional de Desarrollo iniciaron en 1980 el Programa Agroquímico con el objetivo central de contribuir a dinamizar el desarrollo agroindustrial de la región de Cochabamba, ubicada en el centro del país y donde se manifestaba en toda su intensidad la situación general agroindustrial descrita.

El año 1983, bajo la metodología adoptada, el Programa Agroquímico inició investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de recursos vegetales existentes localmente con el fin de obtener aceites esenciales. Se detectó que su producción, en comparación a otro tipo de productos agroindustriales, ofrece algunas ventajas, como la posibilidad de incorporar a los

agricultores a las etapas primarias de los procesos, permaneciendo de esta manera la parte del valor agregado generado en áreas rurales, luego también la oferta de productos no perecibles con alto valor por unidad de peso, que tengan por este motivo posibilidades de acceder al mercados alejados, y perspectivas favorables por la demanda mundial por lo general ascendente de productos naturales.

Paralelamente, se empezó la investigación de la utilización del pasto cedrón (*Cymbopogon citratus*), proyecto en el que, una vez efectuadas las pruebas de laboratorio, se paso a escala piloto instalando el año 1987 una unidad de extracción en la zona tropical del departamento con la característica principal de que, a diferencia del eucalipto, se tenía que promover su cultivo.

Hasta la fecha, el Programa Agroquímico con el financiamiento de varias instituciones de apoyo al desarrollo rural y de apoyo al desarrollo tecnológico, donde no se puede dejar de mencionar al Centro de Investigaciones Internacionales para el Desarrollo (CIID) - Canadá y al Laboratorio de Separación de Esencias Vegetales de la Universidad de Quebec en Chicoutimi, ha instalado varias unidades para la extracción de aceites esenciales, contribuyendo así a la generación de empleos y al aumento de ingresos de la población de áreas rurales.

Adicionalmente, la industria nacional dispone localmente de insumos a precios menores a los internacionales y sin la necesidad de inmovilizar capitales por stock amiento.

En el caso de la producción del aceite esencial de eucalipto, se han instalado siete unidades rurales de extracción, así como también se ha logrado el equipamiento para el tratamiento posterior de aceite esencial. Con una capacidad de producción de 8 toneladas anuales de eucaliptol, se abastece al mercado nacional y se ha incursionado en el internacional con lotes de prueba. La existencia de extensos bosques de eucalipto y la disponibilidad local de tecnología, ha inducido a empresas a instalar unidades por cuenta y riesgo propios, a diferencia de las primeras que cuentan con el apoyo técnico y, en algunos casos, logístico del Programa Agroquímico.

El proyecto de producción de aceite esencial de pasto cedrón (lemongrass) ha alcanzado un nivel cualitativo semejante al anterior. Se dispone de una unidad rural de extracción de aceite esencial

con capacidad de producción de 16 toneladas y con la correspondiente capacidad de purificación para la obtención de citral, principal constituyente del aceite.

En el caso de la producción de aceite esencial de menta japonesa, se ha introducido el cultivo en la zona tropical del departamento de Cochabamba e instalado una unidad rural con capacidad de producción de 6.5 toneladas.

A partir de 1990 se investigan otros aceites esenciales, considerando como materias primas tanto especies vegetales introducidas como nativas. Es el caso del *Eucalyptus citriodora* y del Vetiver entre las primeras, y de algunas especies nativas andinas entre las segundas. Estas últimas están siendo estudiadas dentro de un marco general de desarrollo sostenible y conservación ecológica, donde juega un papel importante el estudio de su domesticación (Zambrana, 2005).

### **1.3.- Justificación**

Actualmente en el mundo industrializado existen iniciativas de vuelta a la naturaleza, como alternativa a los productos denominados "tóxicos" o repletos de "químicos". Estas alternativas en especial a base de plantas. En este caso, búsqueda agentes plaguicidas de origen natural para la agricultura (tanto fungicidas como herbicidas), ya que los actuales agroquímicos empleados a gran escala provocan daños irreparables al medio ambiente.

El control de plagas se ha convertido en un problema para los agricultores debido a su impacto ambiental. Por lo tanto se está multiplicando la resistencia natural de los cultivos, tanto a las enfermedades como a las plagas de insectos, por medio de la ingeniería genética. Sin embargo, se incrementa el interés por la producción de alimentos orgánicos que aseguran en gran medida alimentos sanos a través de la readecuación de prácticas culturales ya conocidas muchos años atrás, asegurando la conservación del suelo, aportando a la seguridad alimentaria y aprovechando productos de la biodiversidad. En este ámbito, se hacen necesarios productos naturales que ayuden a controlar la presencia de algunas plagas (biocidas) y que no se encuentran fácilmente (acceso, volumen, socialización) o bien no se han diversificado.

El presente proyecto pretende establecer información y una base técnica para lograr el escalado de la extracción de aceites esenciales; asimismo, plantea su aplicación como plaguicida en los cultivos. Similares emprendimientos, han sido dejados de lado por no haber favorecido actividades integrales que culminen en una producción sostenible y su aplicación. Entendiéndose que los trabajos previos quedan a medio camino por ausencia de trabajo multidisciplinario, lo que no ha permitido apropiarse de tecnología y menos pasar a la transferencia de tecnología.

#### **1.4.- Objetivo general**

Caracterizar el aceite esencial, extraído a nivel laboratorio y piloto para el control de áfidos partir de tres especies vegetales (Muña, Khoa y ajeno), proveniente de la localidad Ambana y Sorata, del departamento de La Paz.

#### **1.5.- Objetivos específicos**

- a) Determinar las propiedades fisicoquímicas y el rendimiento de los aceites esenciales de la khoa, muña y ajeno obtenidos a escala laboratorio.
- b) Determinar el efecto biocida del aceite esencial de khoa, sobre áfidos en laboratorio.
- c) Caracterizar fisicoquímicamente el aceite esencial de khoa, extraído a escala piloto por arrastre de vapor.
- d) Establecer la inversión del proyecto.

## Capítulo 2. Marco teórico

### 2.1.- El aceite esencial y sus propiedades

#### 2.1.1.-Definición

Los aceites esenciales son productos volátiles obtenidos a partir de materias primas de origen vegetal (plantas aromáticas). Los principales productos aromáticos que existen en diversas partes de las plantas, se evaporan por exposición al aire a temperatura ambiente, por lo que se denominan: aceites volátiles, aceites etéreos, aceites esenciales o esencias (Netfirms.com).

Según la farmacopea francesa los aceites esenciales son productos generalmente muy complejos. Que contienen unas sustancias volátiles de origen vegetal, más o menos modificadas por los procesos de extracción y conservación.

#### 2.1.2.- Clasificación

Según, Albarracín et al (2003), desde el punto de vista químico y a pesar de su complejidad, los aceites esenciales se pueden clasificar de acuerdo con los componentes mayoritarios como:

- Monoterpénicos: por ejemplo los que contienen la hierbabuena, la albahaca y la salvia.
- Sesquiterpénicos como los de copaiba, pino y junípero.

Los monoterpenos y sesquiterpenos son terpenos de diez y quince átomos, que son derivados biosintéticamente de geranilpirofosfato (GPP) y farnesilpirofosfato (FPP) respectivamente.

- Fenilpropanoides como los de clavo, canela y anís.

Los fenilpropanos son sustancias naturales ampliamente distribuidas en los vegetales caracterizadas por un anillo aromático unido a una cadena de 3 carbonos y derivados

biosintéticamente del ácido shikímico, la cadena lateral puede presentar varios estados de oxidación (grupos metilo, hidroximetileno, aldehído y carboxilo) e insaturación. El anillo aromático generalmente está sustituido en los carbonos 3, 4 y 5, siendo estos sustituyentes grupos hidroxilo, metoxilo o metiléndioxi, principalmente.

### 2.1.3.- Localización en las plantas

Los aceites esenciales se pueden localizar en diversos órganos de las plantas:

- En algunos casos, se distribuyen uniformemente por todas las células, como sería el caso de los pétalos de rosa, que necesitan un proceso de extracción especial.
- También pueden localizarse, en las denominadas bolsas secretoras, unos sacos que almacenan estos aceites, y que por su parte superior contienen las células o glándulas secretoras, que los producen y van llenando la bolsa. El ejemplo más claro es el de la corteza de naranja, de limón o de mandarina, y de otras plantas de la familia de las Rutáceas. Si estrujamos la corteza, vemos salir el aceite esencial por rotura de las bolsas secretoras.
- Las Umbelíferas, como el anís, el comino, el coriandro o la Angélica, contienen unos tubos o canales secretores que por su parte inferior están forrados de células secretoras. Si se observan sus frutos al microscopio se pueden ver multitud de agujeritos, que son en realidad las salidas de los canales secretores.
- Las Labiadas, como el tomillo, la ajedrea o el orégano tienen los denominados “pelos” secretores, que tienen una gran célula en su parte inferior, rodeada de células secretoras. Esta célula se llena como un balón de la secreción aromática.

\* No se debe confundir el término esencia o fragancia, con el de aceite esencial. Existen esencias fabricadas sintéticamente, a similitud de los aceites esenciales naturales, que son utilizadas en la industria de la cosmética y de los productos de limpieza. Estas esencias no son adecuadas para el

uso médico, debiendo utilizarse en este caso tan solo los aceites esenciales obtenidos por destilación de la planta en su estado natural (fresca o desecada).

#### **2.1.4.- Colecta del espécimen aromático.**

Los aceites esenciales son una complejísima mezcla de diferentes sustancias químicas, generalmente en número mayor de un centenar. Sin embargo, sus componentes principales suelen ser menores. La proporción de estas sustancias varía de un aceite esencial a otro, e incluso dentro de una misma especie, dándoles unas propiedades medicinales y una toxicidad característica para cada planta. Estas proporciones varían en función del momento de recolección de la planta, siendo usualmente mayor en verano. Así, por ejemplo en el caso de la ajedrea, los componentes principales son el carvacrol, el terpineol-4, el alfa-terpineno y el p-cimeno, aumentando la proporción de este último a mediados de julio, que es cuando se ha de recoger la planta. Entre los ejemplares salvajes y cultivados de ajedrea también se ha comprobado la existencia de diferencias en la concentración de estas sustancias, si bien no se ha demostrado la superioridad de los ejemplares salvajes sobre los cultivados, ya que ambos tienen una misma cantidad de aceite esencial. Procesos como el secado o el tipo de extracción también influyen notablemente en la calidad de los aceites esenciales.

#### **2.1.5.-Principales componentes de las esencias vegetales**

**-Carburos terpénicos:** Los terpenos son una clase de sustancias químicas que se hallan en los aceites esenciales, resinas y otras sustancias aromáticas de muchas plantas, como por ejemplo los pinos y muchos tipos de cítricos. Uno de los terpenos más comunes es el pineno, que se encuentra entre otros, en la trementina, extraída del pino. Aunque no siempre se han de considerar tóxicos, los terpenos, tomados en dosis suficientemente elevadas, pueden producir convulsiones, insomnio, náuseas, pesadillas, temblores y vértigo, entre otros problemas. Algunos de los terpenos más usuales son el limoneno, felandreno, camfeno, cariofileno.

Los terpenos se oxidan naturalmente, por lo que muchas veces es necesario separarlos, obteniendo un producto de mayor valor, que se conoce como aceite esencial desemeñada. Es

importante conocer ésta, para efectos de poder fijar precio al producto, ya que esta varía según su composición química. Los mayores consumidores de aceites diterpenados son las industrias de perfumería y cosmeatría

-**Cetonas:** Parecidas químicamente a los terpenos, algunas cetonas como la thuyona, se hallan en el ajeno (*artemisia absinthium*) utilizado en la fabricación de numerosas bebidas alcohólicas como la absenta o el vermut.

- **Alcoholes:** Como el borneol, mentol, geraniol, linalol o cineol.

- **Fenoles:** Timol, eugenol, eucaliptol, carvacrol, anetol.

- **Aldehídos:** Cinámico, anísico y benzoico.

- **Esteres:** Acetato de linalilo, salicilato de metilo (compuesto antiinflamatorio como la aspirina).

Carburos saturados, ácidos, compuestos sulfurados.

#### 2.1.6.- Propiedades fisicoquímicas

Si bien la composición química de los aceites esenciales es muy variada, todos ellos poseen varias propiedades fisicoquímicas en común, por ejemplo: Son líquidos a temperatura ambiente, generalmente su densidad es inferior a la del agua (las esencias de azafrán y clavo constituyen excepciones), casi siempre dotadas de poder rotatorio y tiene un índice de refracción elevada, son solubles en alcoholes y en disolventes orgánicos habituales, son liposolubles y muy poco soluble en agua, son arrastrables por el vapor de agua, y la composición del aceite se determina por técnicas cromatográficas y espectroscópicas (Publicado por netfirms el 2010).

#### 2.1.7.- Rendimiento

El rendimiento, se entiende como la cantidad en masa o volumen de aceites esencial (crudo) que es posible extraer de 100 g de materia prima vegetal en base seca ó húmeda.

Según, Elder et al (2002), los valores promedio en aceite esencial van desde 0,4 % hasta 1,3 % (relación de kilos de aceite obtenido sobre kilos de material verde a procesar).

El cuadro 1, muestra un listado de algunas especies vegetales, rendimientos y componente principal.

**Cuadro 1. Rendimiento de algunos aceites esenciales en base seca**

<b>NOMBRE COMUN (Producto natural)</b>	<b>ORIGEN BOTANICO (Genero y especie)</b>	<b>RENDIMIENTO %</b>	<b>COMPONENTE PRINCIPAL</b>
ANIS	<i>Pinpinellaanisum</i> (Frutos)	1,5 - 4	Anetol
MANZANILLA	<i>Matricaria chamomilla</i> (Flores)	0,3 - 1	Azuleno, a-bisabol
APIO	<i>Apiumgraveolens</i> (Frutos)	1,5 - 2,5	Sedanólidos
CANELA	<i>Cinnamomunzeylanicum</i> (Corteza)	0,5 - 0,8	Cinamaldehido
PIMIENTA	<i>Pipersp</i> (frutos secos)	1 - 2,7	Monoterpeno
ROMERO	<i>Rosmarinusofficinalis</i> (Hojas)	0,5 - 1,2	Cineol, Borneol
MOLLE	<i>Schinus molle</i> (frutos secos)	5,0 - 7,0	B-felendreno
MENTA AMERICANA	<i>Menthaspicata</i> (Hojas)	0,6 - 1	Carbona
OREGANO	<i>Origanumsp</i> (Hojas)	1 - 1,5	Carvcrol, Timol
CITRONELA	<i>Cymbopogonnardus</i> (Hojas)	0,5 - 0,7	Geraniol, citronelal
CLAVO	<i>Syzygiumaromaticum</i> (Botones florales)	1,4 - 2,1	Eugenol

\* Los valores porcentuales de la tabla (Rendimiento de aceites esenciales), son determinaciones a partir de materia orgánica seca.

NOMBRE COMUN (Producto natural)	ORIGEN BOTANICO (Genero y especie)	RENDIMIENTO %	COMPONENTE PRINCIPAL
HINOJO	<i>Foeniculumvulgare</i> (Frutos)	4,0 - 6,0	Anetol
AJO	<i>Alliumsativum</i> (Bulbos)	0,1 - 0,24	Alilsulfuros
AJENJO	<i>Artemisia absinthium</i> (Tallos, hojas y flores)	1,0 - 2,0	Tuyona
JENJIBRE	<i>Zingiberofficinale</i> (Rizomas)	0,2 - 1,2	Zingibereno, Citral
LAVANDA	<i>Lavandulaofficinalis</i> (Flores)	0,5 - 1	Linalol, Linalilacet.
LIMON	<i>Citrus limón</i> (Cascara del fruto)	3,0 - 4,0	Limoneno, Citral
MENTA	<i>Menthaarvensis</i> (Hojas)	0,5 - 1	Mentol
NUEZ MOSCADA	<i>Myristicafragans</i> (Frutos)	6,5 - 13	Safrol, Miristicina
NARANJA AMARGA	<i>Citrus aurantium</i> (Cascara)	0,4 - 0,5	Linalilacet.
NARANJA DULCE	<i>Citrus sinensis</i> (Cascara)	0,4 - 0,5	Limoneno, Deciladehido
PACHULI	<i>Pogostemoncablin</i> (Hojas)	1,5 - 3	Sesquiterpeno

Fuente: Elaboración propia, sobre la base de información de FIGMAY S.R.L., marzo 2011.

## 2.2.-Aspectos generales de las especies vegetales a estudiar

### 2.2.1.-Descripción de la Khoa (*Satureja boliviana*)

La *Satureja boliviana*, es una especie espontánea del altiplano y de sus valles conocida comúnmente como Khoa, Muña muña, etc. Es un arbusto pequeño que pertenece a la familia Lamiaceae, propio de la región de los Andes. Esta planta que tiene varios usos etnobotánicos tanto como medicamento como condimento para las comidas; En Bolivia su uso es muy reducido

y es poco lo que se aprovecha de esta especie, principalmente en el sur del departamento de Oruro. Los estudios fitoquímicos realizados por investigadores argentinos y neozelandeses revelan que esta especie tiene muchas potencialidades en el campo de la fitomedicina. En base a las características de la especie se puede proponer la posibilidad de aprovechar esta especie en el área de alimentos y el área de medicamentos.



Fuente: Publicación de medicina natural por Gonzalo Fernández en junio 13, 2010.

**Figura 1.** Imágenes del *Clinopodium bolivianum* o *Satureja boliviana*

Se considera una especie versátil, con un amplio rango de tolerancia a la variación de las condiciones ambientales, especialmente a la sequía y a las heladas, aunque su crecimiento óptimo no está limitado por la disponibilidad de agua. Esta especie también tolera suelos ácidos de moderada humedad y tienen preferencia por los sitios soleados y bien drenados.

#### **2.2.1.1.- Composición de la esencia natural de khoa**

Los componentes mayoritarios del aceite son: La isomentona (33,61%), pulegona (9,79%) y carvacrol (11,14%). También contiene el 1,8 Cineol,  $\alpha$ -Pineno,  $\alpha$ -Tujeno, Sabieno, 1-metil-2-(1-metil)-benceno,  $\gamma$ -Terpineno,  $\alpha$ -Terpineol, Indo bornil acetato, Cariofileno,

Epibiclosesquifelandreno, Espatulenol y  $\gamma$ -Cadineno. Los mencionados compuestos volátiles, aromáticos de naturaleza química se identifica por cromatografía en fase gaseosa en columna capilar (Figueroa, 1995).

### **2.2.1.2.- Propiedades y su aprovechamiento de la khoa**

Esta especie se emplea para el tratamiento del reumatismo, remedio contra mareos, náuseas y vómitos. Combate con buen resultado las enfermedades del estómago, digestiones lentas y difíciles, acidez del estómago y calambres. El aceite esencial obtenido de la planta por arrastre de vapor es translúcido con aspecto límpido de olor característico a menta y sabor alcanforado. El aceite presenta una composición relativamente compleja y variada.

En este sentido, se puede realizar un cultivo sostenible de esta especie no debería presentar mayor problema si se realiza un manejo inicial de la misma, ya que la primera etapa del ciclo vital es la más crítica para la sobrevivencia, pero una vez establecida la especie es resistente a condiciones ambientales. Es posible tener más de una cosecha por temporada si se tiene un buen cultivo, ya que una de las características favorables de esta especie es que presenta un crecimiento vigoroso y acelerado luego de la poda, siempre y cuando no se corten ramas menores a 40 centímetros (para permitir el rebrote).

Dadas las potencialidades de esta especie, se podría realizar una producción sostenible de la misma, mediante el aprovechamiento e industrialización de la especie como mate comercial en saquitos, como hierba aromática de cocina (condimento seco y molido) y como medicina, en diferentes presentaciones (usando los principios activos).

Para realizar un aprovechamiento a nivel de principios activos con fines medicinales el proceso de manejo es más complicado ya que esta especie no es químicamente homogénea, si no que la concentración de los diferentes principios activos varía considerablemente de una planta a la otra, definiendo una serie de quimiotipos (Figueroa, 1995).

### 2.2.2.-Descripción de la Muña (*Minthostachys andina*)



Fuente: Publicado en marzo 18,2011 por Agroinfo.com

**Figura 2.** Imagen de la *Minthostachys andina*

Es una especie de los valles altos conocida comúnmente como Muña, Martín muña, Khoa muña y Cruz muña. Es una planta arbustiva leñosa, oriunda de Bolivia, Colombia, Ecuador, Perú y Venezuela, que alcanza de 80 a 120 cm de altura, es frondosa en la parte superior, y erecta. Su tallo es ramificado desde la base y posee hojas pequeñas. Sus flores son blancas y se encuentran reunidas en cortos racimos. Crece entre los 2.700 y los 3.400 m.s.n.m, en las regiones andinas.

#### 2.2.2.1.-Composición del aceite de Muña.

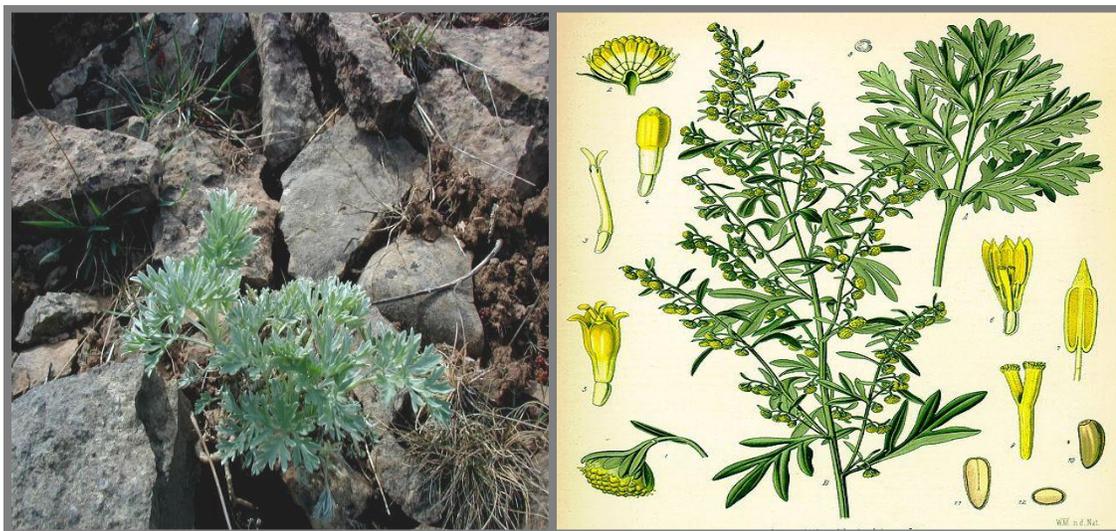
Los componentes principales del aceite son: Pulegona (46,7%), Mentona (15,89%), Isomentona (13,34%), y componentes menores como el Limoneno, Linalol, Ácido piperínico, Carvacrol, etc (inkanattural.com).

#### 2.2.2.2.-Propiedades de la Muña.

- Las hojas y flores de esta hierba se toman como infusión o mate, para dolores estomacales. En casos de soroche o mal de altura ayuda a liberar los bronquios y disipa el mareo.

- Tiene propiedades carminativas por lo que es aconsejable contra las flatulencias que padecen especialmente los niños y bebés, aunque su uso es para todas las edades.
- Contribuye a eliminar los parásitos intestinales.
- Disminuye la aparición de problemas visuales (cataratas, miopía y degeneración macular) y contribuye a mantener agudeza en la visión.
- Estimula la prevención de la mayoría de problemas respiratorios y ayuda a descongestionar las vías respiratorias.
- Las hojas de muña se emplean en la curación de fracturas, luxaciones y tumores ocasionados por golpes.
- Por su alto contenido proteico y ser un excelente aromatizador, es imprescindible en la cocina andina donde la sopa serrana, un chupe de tubérculos andinos (papas, ollucos y ocas principalmente) con muña, es un excelente plato para el paladar más exquisito.
- Su consumo favorece una mejor digestión de los alimentos, evitando la formación de gases.
- La Khoa muña (carbón de los tallos) se usa para la fabricación artesanal de pólvora para los fuegos artificiales: carbón de muña, azufre y alcohol de 40°.
- Recomendable para fumigar contra insectos molestos como zancudos y moscas.
- En los valles altos de Bolivia y en la sierra peruana, los campesinos la utilizan para conservar la papa, porque tiene un fuerte efecto repelente sobre los "gusanos de tierra" que devoran los tubérculos, tallos y hojas (Schmidt-Lebuhn, 2008).

### 2.2.3.- Descripción del Ajenjo (*Artemisia absinthium*)



Fuente: Publicado en marzo 2, 2011 por Wikipedia

**Figura 3.** Imágenes de la *Artemisia absinthium*

El ajenjo, ajorizo, artemisia amarga o hierba santa es una planta herbácea medicinal, nativa de regiones templadas de Europa, Asia y norte de África. Pertenece a la familia *Asteraceae*. Conocida desde muy antiguo ya por los egipcios, transmitida después a los griegos, esta hierba ha sido denominada “la madre de todas las hierbas” en la obra “Tesoro de los pobres” dadas sus múltiples aplicaciones curativas.

Es una planta perenne herbácea, con un rizoma leñoso y duro. Los tallos son rectos. Crece hasta 8 a 12 dm (raramente hasta 15 dm), y es de coloración verde plateada. Las hojas tienen un arreglo espiralado, verde grisácea arriba y blancas en el envés, cubierto de pelos blanco plateados, con glándulas productoras de aceite; las hojas basales de hasta 25 cm de longitud, tripinnadas con largos peciolo, con hojas caulinares (sobre el tallo) más pequeñas, 5 a 10 cm largo, menos divididas, y con cortos peciolo; las hojas superiores pueden ser simples y sésiles (sin peciolo). Sus flores son amarillas pálidas, tubulares y en cabezas capítulos, y a su vez en panículas hojosas y con brácteas. La floración es de principios de verano a principios de otoño; la

polinización es anemófila. El fruto es un pequeño aquenio; la dispersión de las semillas es por gravedad (figura 3).

Se trata de unas raíces perennes, se seca en invierno y florece cuando llega el buen tiempo, es de tallo firme, hasta algunas veces leñoso; las hojas son de color blanquecino de ambos lados, debido a un bello canoso que le sale a la planta. Las flores son de color amarillo de 3 a 5 mm de diámetro y salen en los meses de julio a septiembre.

En España se cría en los valles pirenaicos, en la cordillera que separa Aragón con Valencia y en la sierra de Guatemala. También el ajenjo crece salvaje en el Cáucaso (figura 3). Como esta planta ha sido cultivada antaño, se pueden encontrar espontáneamente grandes superficies con ejemplares de esta especie.

Se puede encontrar además en diferentes países europeos, ya que originalmente se distribuyó desde Europa Occidental hasta Asia Central Y en la actualidad es posible encontrarla en casi todo el mundo debido a la facilidad de su cultivo.

En 1890, el "hada verde", como era llamada la bebida de Ajenjo, desencadenó olas de borrachera en Europa. Fue la musa inspiradora de los poetas y artistas. Se le atribuyen poderes alucinógenos.

#### **2.2.3.1.- Composición del aceite esencial de Ajenjo.**

La planta contiene una esencia de color verdoso o azulado (los responsables son el azuleno y camazulenos) y con un fuerte sabor amargo, y el principal componente es la tuyona, pero también está presente la isotuyona, las lactonas sesquiterpénicas, sales potásicas, flavonoides, vitaminas C y B6, ácido palmítico, ácido cafeico, ácido glutónico, ácido esteárico, ácido gálico, ácido ferúlico, entre otros compuestos. La planta tiene otro compuesto denominado la absintina, una sustancia amorfa de color amarillo, poco soluble en agua pero si en alcohol. El máximo contenido en aceite esencial del Ajenjo se produce antes de la floración en las partes aéreas de la planta (Wikipedia, 2011).

### **2.2.3.2.-Propiedades del Ajenjo.**

Se menciona que la propiedad más importante es la aperitiva. Se utiliza como tónico, febrífugo y antihelmíntico, colerético, antiséptico así como en la elaboración de la absenta, como ingrediente del licor, y para dar sabor a las bebidas destiladas y vinos, vermouths. Es muy útil como repelente de insectos. Su uso como planta medicinal, se halla libre de los desastrosos efectos de los licores que se producen con él; entre otras cosas, por su fuerte sabor amargo lo hace poco apto para un consumo abundante. Contiene principios amargos (absintina), a las que debe sus propiedades digestivas; aceite esencial rico en tujona, de acción vermífuga y emenagogo, pero tóxica (El aceite de ajenjo puro es muy venenoso) en dosis altas; sales minerales (nitrato potásico) y taninos. Aplicado correctamente, el ajenjo nos ofrece unas interesantes propiedades medicinales (Cano morales, 2002).

### **2.3.-Principios básicos de la extracción de aceites esenciales.**

#### **2.3.1.- Definición**

La extracción es una operación unitaria que estudia la separación de los componentes de una mezcla, a través de diferentes técnicas cuyos principios pueden ser físicos ó químicos.

#### **2.3.2.- Clasificación de las técnicas de extracción de aceites esenciales**

Según Sánchez (2006), las técnicas de extracción de aceites esenciales se pueden clasificar en:

- Enflourage.
- Extracción con solventes.
- Extracción por prensado.
- Extracción con fluidos supercríticos.
- Hidrodestilación.
- Extracción por arrastre con vapor

### 2.3.3.- Extracción de aceite esencial por arrastre de vapor

Los aceites esenciales extraídos por este método, según la cantidad de materia prima expuesta, pueden clasificarse en aquellos que corresponden a una denominada escala laboratorio (100g), escala bench (1 a 2 kg), escala piloto (2 a 10 kg) y escala industrial (10 a 100 kg) (Cerpa, 2007).

Una vez extraído el aceite, éste en primera instancia es denominado como aceite crudo, y cuando se realiza un tratamiento llega ser aceite esencial purificado o de alta calidad (Instituto de investigación de recursos biológicos “Alexander Von Humboldt”, 2003).

#### 2.3.3.1.- Arrastre de vapor

Por efecto de la temperatura del vapor (100 °C, a nivel del mar) en un cierto tiempo, el tejido vegetal se rompe liberando el aceite esencial, el cual presenta a estas condiciones una presión de vapor:  $PT = Pv + Pa$ .

La fracción de aceite esencial en la mezcla de vapor será:  $Ya = Pa / PT$

Adicionalmente el aceite esencial debe de ser insoluble en agua, ya que después del condensador, en el separador (Florentino) debe de formarse dos fases: una de aceite esencial y otra de agua. Si el aceite esencial presenta componentes solubles en agua estos quedarán en la fase acuosa que puede comercializarse como tal: agua de rosas, agua de jazmín, agua de ylang-ylang. (Sánchez, 2006).

#### 2.3.3.2.-Escala laboratorio

En los laboratorios como se muestra en la figura 4, se utilizan balones de 1 y 5 litros, mientras que los equipos industriales pueden llegar a tener una capacidad de hasta 8000 ó 10000 litros en el recipiente para colocar la hierba.



Fuente: Elaboración propia, en abril 16, 2011

**Figura 4.** Equipo de destilación por arrastre con vapor de agua

El vapor de agua atraviesa la hierba colocada en el balón, extrae y arrastra el aceite esencial que tiene bajo punto de volatilización y lo lleva hasta el refrigerante, donde al enfriarse se condensa y se separa el agua del aceite por densidad. Si el aceite es menos denso queda en la superficie y si es más denso que el agua, va al fondo. De esta manera es fácil separarlo (Brewster, 1970).

El uso de vapor como arrastre en la extracción, da como resultado la separación de porciones medicinalmente activas provenientes de tejidos vegetales, de todos aquellos componentes inactivos o inertes que sean volátiles. Cuando se tiene un sistema de dos líquidos inmiscibles entre sí, cada uno actúa como si el otro no estuviera presente. La presión arriba de este sistema será igual a la suma de las presiones de cada uno de estos líquidos puros a la temperatura en cuestión. Cuando el sistema hierve, la presión total será igual a la presión barométrica, que es igual a la suma de las presiones de cada uno de los líquidos puros a la temperatura de ebullición. La temperatura a la que los líquidos hierven será por lo tanto menor que la temperatura de

ebullición de cada uno de los líquidos independientes. Un líquido ayuda al otro a destilarse (se suman sus presiones para igualar a la presión barométrica).

$$P_T = P_A^* + P_B^*$$

De la ley de Dalton:

$$P_A^* = X_A P_T, \quad P_B^* = X_B P_T$$

$P_T$  es la presión total,  $P_A^*$ ,  $P_B^*$  son las presiones de los dos líquidos puros a la temperatura de ebullición de la mezcla,  $X_A$ ,  $X_B$  son las fracciones mol de cada líquido.

$$P_A^*/P_B^* = n_A/n_B$$

$n_A$ ,  $n_B$  representan el número de moles de los líquidos A y B.

La composición del destilado será constante mientras las dos fases líquidas estén presentes (la temperatura de ebullición del sistema debe permanecer constante siempre y cuando  $P_T$  no cambie), ya que  $P_A^*$  y  $P_B^*$  son constantes a una temperatura dada.

Uno de los líquidos empleados es comúnmente agua y el otro un líquido inmiscible con agua. A este proceso se le llama destilación con vapor de agua o destilación por arrastre de vapor. El método es muy usado en la purificación de líquidos orgánicos (La mayoría inmiscibles en agua).

El extracto obtenido se separa en tres fases claramente definidas, la fase no soluble en agua, la fase parcialmente soluble en agua y el agua, producto de la condensación del vapor utilizado para la extracción. La parte parcialmente soluble en agua se puede separar, con la adición de sal, la cual deja claramente separado en dos fases. Entonces la fase no soluble se decanta y se destila al vacío fraccionando, y luego la caracterización respectiva (Cano Morales, 2002).

### 2.3.3.3.- Escala piloto

El Extractor (destilación por arrastre con vapor) de aceites esenciales a escala piloto, poseen una capacidad de 50 a 500 litros. Son construidos en acero comercial, inoxidable o cobre. Pueden ser de dos tipos: con generador externo (caldero) o acoplado al hidrodestilador. Están conformados

de un hidroddestilador cilíndrico simétrico o de una altura ligeramente mayor al diámetro. El vapor de agua generado en un caldero, es inyectado por los fondos del equipo o generado en esa sección. La materia prima suele estar compactada y almacenada en una cesta para su mejor carga y descarga. Los condensadores son de coraza y de varios tubos internos o de un doble serpentín sumergido en un tanque de agua. Los florentinos son decantadores en acero inoxidable, con un cuerpo cónico o cilíndrico y un fondo cónico. EL aceite esencial es recogido del florentino y almacenado en otro decantador. Se realiza esta segunda separación dinámica por que el flujo de vapor es alto y el tiempo necesario para que la emulsión aceite-agua se rompa, suele ser mayor al nivel laboratorio.

El tiempo de extracción es variable de acuerdo a la naturaleza y estado del material vegetal. Las hierbas como mentas, tomillo, etc., son extraídos totalmente en la primera hora u hora y media de extracción. Las semillas y frutos secos requieren más tiempo de extracción. El material recién cortado y con demasiada humedad (células turgentes) requiere más tiempo de extracción que el mismo material oreado o seco. Por este motivo y para aprovechar al máximo la capacidad del alambique conviene procesar material oreado o seco (Cerpa, 2007).

#### **2.4.-Demanda de aceites esenciales**

Los aceites esenciales no son un bien de consumo directo, son materias primas o insumos industriales y los podemos clasificar en:

- Aceites esenciales para la industria de las fragancias: cosméticos, perfumes, aseo, plásticos, textiles, pinturas y papelería.
- Aceites esenciales para la industria de aromas o sabores: alimentos (bebidas, confites, etc.), medicamentos, licores, tabaco y cigarrillos.
- Aceites esenciales para la industria de productos medicamentosos: Con efectos sobre el sistema digestivo, urinario, nervioso, antiinflamatorio, antirraquítica, aroma terapia, etc. (medicina alternativa y oficial).

- Aceites esenciales para la industria con otras actividades químicas: biocida, solvente, petroquímica (Instituto de investigación de recursos biológicos “Alexander Von Humboldt” (2003).

#### 2.4.1.- Mercado de los aceites esenciales

Las importaciones de aceites esenciales en el 2010 de los Estados Unidos fueron de USD 570 millones y las exportaciones en ese mismo año de USD 431 millones, lo que representa un mercado de USD 1,003 millones.

#### Cuadro 2. Producción de aceites esenciales en Estados Unidos (Toneladas métricas)

Años	2005	2006	2007	2008	2009	2010
Aceite de peppermint (menta piperita)	3,166.1	3,222.8	2,556.5	2,494.3	2,893.5	2,886.2
Aceite de spearmint (yerbabuena)	815.6	924.4	1,130.8	1,088.2	1,223.8	1,051.4
<b>Total</b>	<b>3,981.7</b>	<b>4,147.2</b>	<b>3,687.3</b>	<b>3,582.5</b>	<b>4,117.3</b>	<b>3,937.7</b>

Fuente: Dirección de Inteligencia Comercial e Inversiones. Oficina comercial del Ecuador en Nueva York. Perfil de aceites esenciales en Estados Unidos. Abril 2011.

#### 2.5. Biocidas

El control de insectos se ha basado en el uso de productos químicos de acción sistémica, como el pirimicarb. Pero el uso de plaguicidas químicos sintéticos está produciendo efectos adversos sobre los organismos benéficos y el desarrollo de resistencias, por lo que es usual incrementar las dosis de aplicación, con riesgo para la salud pública y al ambiente (Cisneros et al. 1995; Pascual 1996; Picanço et al.1999). Además, la seguridad alimentaria y las amenazas de bioterrorismo son preocupaciones que los países tienen respecto a los alimentos. Por ello se han planteado una serie de

exigencias que se han protocolizado como Buenas Prácticas Agrícolas. Estas exigencias han potenciado el desarrollo de nuevos métodos de control que favorezcan la reducción de residuos que puedan provocar trastornos en el hombre y el medio ambiente (Brimmer y Boland, 2003), mencionado por Ferrada (2005).

### 2.5.1.- Importación de plaguicidas de uso agrícola a nivel nacional

**Cuadro 3. Importación de plaguicidas, del 2004 al 2010 (Expresado en toneladas)**

Clase de uso	Gestión 2004	Gestión 2005	Gestión 2006	Gestión 2007	Gestión 2008	Gestión 2009	Gestión 2010	Total
Acaricida	0.105	0	1.88	0.000	0.000	0.001	0.005	1.991
Bactericida	0.000	0	0	23.000	13.400	24.102	2.000	62.502
Formicida	0.000	2.500	2.000	0.000	0.000	2.500	5.000	12.000
Fungicida	1258.854	1725.012	2233.703	3190.471	3790.855	4307.257	3216.390	19722.543
Herbicida	6317.967	10310.130	12181.424	14688.922	19680.643	19213.034	13999.748	96391.867
Insecticida	2851.944	4693.829	5108.531	6705.483	6839.467	8076.274	6612.457	40887.985
Molusquicida	10.000	0.001	0.000	48.500	7.002	0.001	0.000	65.504
Raticida	1.120	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1.120
<b>Total</b>	<b>10439.990</b>	<b>16731.472</b>	<b>19527.538</b>	<b>24656.376</b>	<b>30331.367</b>	<b>31623.168</b>	<b>23835.600</b>	<b>157145.511</b>

Fuente: pagina web. SENASAG (2011).

De acuerdo a la base del sistema en línea "Gran Paititi" del SENASAG, hasta la fecha, 189 empresas en sus diferentes categorías (Registrante Importador, fabricantes, formuladores,

fraccionadores y envasadoras de plaguicidas y fertilizantes de uso agrícola), se encuentran legalmente empadronadas, en cumplimiento a las resoluciones administrativas del SENASAG N° 055/2002 (Reglamento para el registro y control de plaguicidas y sustancias a fines de uso agrícola) y 012/2006 (Reglamento para la evaluación y control de fertilizantes sólidos y líquidos y acondicionadores de suelo), y en el cuadro 3, se detalla por gestiones la importación de plaguicidas a nivel nacional.

## 2.6.- Los pulgones y los daños que ocasiona



Fuente: Publicado en marzo 18, 2011 por Infojardin

**Figura 5.** Imágenes de los pulgones ó áfidos

Los áfidos o pulgones son insectos diminutos de aproximadamente 1/8" de largo. Tiene un cuerpo blando y su parte posterior es redondeada en forma de pera. Se caracterizan por que en la parte posterior poseen dos estructuras tubulares de color oscuro. A estas estructuras se les llama cornículo. El color de las diferentes especies de áfidos varía desde tonos amarillosos hasta colores oscuros. Normalmente, los áfidos no tienen alas, pero las pueden desarrollar para migrar a nuevas áreas a causa del hacinamiento o la escasez de alimento.

Estos insectos se reproducen en grandes números en un tiempo relativamente corto. Pueden completar su ciclo de vida en aproximadamente 10 a 14 días. Su ciclo de vida consta de tres etapas: huevo, ninfa y adulto.

### **2.6.1.-Daños que causa el áfido**

Los áfidos se alimentan de las hojas, los renuevos, las flores, los frutos, las ramas, los tallos y las raíces de una gran diversidad de plantas, árboles y arbustos. Altas poblaciones de estos insectos causan que las hojas jóvenes, los renuevos y las flores se arruguen o enrosquen. Su ataque ocasiona que se agudicen los síntomas de la marchitez en tiempos de sequía y que las plantas, los árboles y los arbustos se vean deslucidos. Una población alta de áfidos puede retrasar el crecimiento y destruir los renuevos.

Además del daño que causan por si solos, los áfidos transmiten virus que causan enfermedades serias en las plantas. También, estas plagas secretan una sustancia azucarada tipo melaza que promueve el crecimiento de un hongo negro conocido como fumagina o moho de hollín. Este hongo no parasita las plantas, los árboles ni los arbustos, pero les desluce su apariencia y disminuye la acción fotosintética del follaje. Las hormigas también se alimentan de esta secreción azucarada y tienen una relación simbiótica con los áfidos. Esta relación simbiótica consiste en que las hormigas protegen a los áfidos y los transportan de una planta a otra a cambio de la secreción azucarada.

### **2.6.2.- Control ecológico de plagas**

Con el control ecológico de una plaga no se debe intentar eliminarla, sino bajar sus niveles poblacionales por debajo del daño económico. La plaga forma parte del equilibrio del sistema. Al eliminarla aparecen nuevos nichos ecológicos, que son ocupados inmediatamente por otros insectos y desaparecen los enemigos naturales que se alimentaban de los primeros.

Utilizar plaguicidas continuamente crea resistencia de los insectos hacia el producto.

El aspecto más importante, en una huerta orgánica para el manejo ecológico de plagas es el mantenimiento de la fertilidad del suelo, mediante técnicas de laboreo, abonos verdes, compost, rotaciones y asociaciones de plantas.

Se pueden usar plantas aromáticas como cerco vivo o dentro de los surcos del cultivo. Un buen cerco sería el compuesto por: Lavanda, romero, salvia, ruda, ajeno, manzanilla y orégano.

Aprovechar la acción de enemigos naturales de las plagas, plantando hospederos para mantener los enemigos naturales, y también recolectar enemigos naturales para luego distribuirlos. Todo esto con el propósito de no usar insecticidas.

La mariquita ó Catarina ha sido considerado un regalo del cielo por su habito (tanto en estado de larvas como de adultos) de alimentarse de pulgones y otras plagas agrícolas. Los agricultores liberan las mariquitas para proteger las cosechas de las plagas.

Para que haya menor incidencia de plagas, la huerta debe imitar un paisaje natural en donde conviven diferentes especies de insectos y diversidad de plantas, diferentes colores, flores variadas y diferentes olores de plantas aromáticas (academic.uprm.edu, 2011).

### **2.7.-Dosis letal, concentración letal**

La Dosis o Concentración Letal 50 (DL50), o Dosis Letal Media, es la cantidad de miligramos de ingrediente activo por kilogramo de peso, requerido para matar al 50% de los animales de laboratorio expuestos. La DL50, en el caso de los plaguicidas, debe determinarse para las diferentes rutas de exposición (oral, dérmica y respiratoria) y en diferentes especies de animales (RAP-AL, 2012).

La Dosis letal 50% (DL50) es aquella concentración del insecticida, que al ser administrada por cualquier vía de ingreso/tiempo mata el 50% de la población de insectos evaluada.

Entonces se usan metodologías directas (aplicar al cuerpo o una parte en especial) se habla de DL50 g/Kg animal ó indirectas (con una concentración se aplica una dosis contacto) donde se habla de dosificación y se usa CL50, cm<sup>3</sup>/ha, (Aguayo Silva, 2004).

## **2.8.-Análisis económico**

La evaluación económica (o lo que también se denomina análisis costo-beneficio) busca identificar el aporte de un proyecto al bienestar económico nacional. En otras palabras, busca medir la contribución del proyecto de múltiples objetivos socioeconómicos nacionales, como son el incremento del producto nacional; la generación de empleo; y la producción o el ahorro de divisas y para visualizar si la inversión es atractiva (Ramallo, 2005).



## Capítulo 3. Estudio técnico

### 3.1.- Definición del producto

Los aceites esenciales son productos biosintetizados por las plantas, están compuestos por mezclas (son líquidos a temperatura ambiente) homogéneas de sustancias orgánicas. También es la reserva energética que ayuda a proteger y reforzar la inmunidad de la especie vegetal (esta misma acción puede haber sobre el cuerpo humano, siempre que se usen con moderación), como la eliminación de material de desecho, atracción de insectos para la fecundación o defensas contra insectos y plagas, con el cual cumple la función fisiológica, y estas esencias son parte del metabolismo del vegetal (Cano, 2002). Estos productos fisiológicamente procesados.

### 3.2.- Materia prima e insumos.

#### 3.2.1. Localización de las zonas de colecta de materia prima

##### a) Localización de Ambana

Está ubicada en la provincia Camacho, tercera Sección: Puerto Cara buco (cantones de Puerto Cara buco, Ambana, Puerto, Chaguaya, San Miguel de Yaricoa), posee un elevado porcentaje de la población que es trilingüe. Se llega a la localidad de Ambana (valle) partiendo del cementerio general de La Paz - Alto La Paz- Palcoco- Batallas- Achacachi- Ambana, recorriendo 185 kilómetros (5 a 6 horas de viaje en bus-colectivo) sobre la nueva carretera Umacha – Ambana. Se llega a la plaza principal 5 de agosto del Cantón Ambana, latitud 15° 28 min 0.12 sec S y longitud -69° 0 min 0 sec W. Tiene una población de 6.000 habitantes aproximadamente distribuidos en las 8 Subcentrales agrarias y 48 comunidades a una altura de 1800 m.s.n.m.

##### b) Localización de Sorata

Está ubicada en la provincia Larecaja. Desde La ciudad de La Paz a una distancia de 150-170 Km., al Norte, siguiendo el trayecto de La Paz – Batallas – Huarina – Achacachi -

Warisata (Altiplano) para continuar hasta la Cumbre (4.200 m.s.n.m.). Posteriormente se desciende hasta la localidad de Sorata (plaza Enrique Peñaranda). Sorata está a 2.667 m.s.n.m., latitud 15°46'00"S, longitud 68°38'00"W, al pie del Illampu (6.368 m.s.n.m.). Su temperatura media anual es templada, propia de un valle. De la ciudad de Sorata continúan caminos carreteros de tierra, con diversos ramales hacia Tintilaya, Tacacoma, Quiabaya, Ananea, Yani, Consata, Santa Rosa, Mapiri, Guanay, Tipuani y Teoponte.

### 3.2.2. Materia prima

Las especies vegetales (son la materia prima), para la obtención y caracterización de sus aceites esenciales fueron:

- El *Clinopodium bolivianum* (**Khoa**), han sido colectados en las localidades de Ambana (Latitud 15° 28' 0", Longitud 69° 0' 0") y Sorata (Latitud 15° 46' 0", Longitud 68° 37' 59"), que se encuentran en las provincias de Camacho y Larecaja respectivamente.
- La *Artemisia absinthium* (**Ajenjo**) y la *Minthostachys andina* (**Muña**), han sido colectados en la localidad de Ambana (Latitud 15° 28' 0", Longitud 69° 0' 0"), de la provincia Camacho.

### 3.2.3. Insumos

El suministro de agua, para condensar el vapor (mezcla de agua y aceite), ha sido utilizado directamente de la red (agua de grifo), el cual se encuentra en las instalaciones del laboratorio, de la Carrera de Química Industrial.

El consumo de agua, para la extracción de aceites por arrastre con vapor, ha sido utilizado de la red (agua de grifo), realizando un previo tratamiento, haciendo pasar la corriente de agua, a través de unas columnas con resinas catiónicas para ablandar el agua.

El cloruro de sodio y el sulfato de magnesio anhidro (insumos), han sido adquiridos del laboratorio de la Carrera de Química Industrial, para ser utilizados en la obtención de aceites esenciales y para la rectificación o preparación de las muestras de aceite. Estas sustancias químicas, cumplen con las siguientes funciones en el proceso:

- El cloruro de sodio, tiene la particularidad de insolubilizar el compuesto orgánico en fase acuosa, es decir que puede romper la emulsión formada entre el agua y el aceite, en el vapor condensado, del proceso de destilación. Conocido también como efecto salazón.
- El sulfato de magnesio anhidro, tiene la propiedad de absorber el agua (cantidades pequeñas) presente en los aceites esenciales, es decir que puede eliminar las moléculas de agua disueltos en el aceite. Esta sustancia se denomina agente desecante.

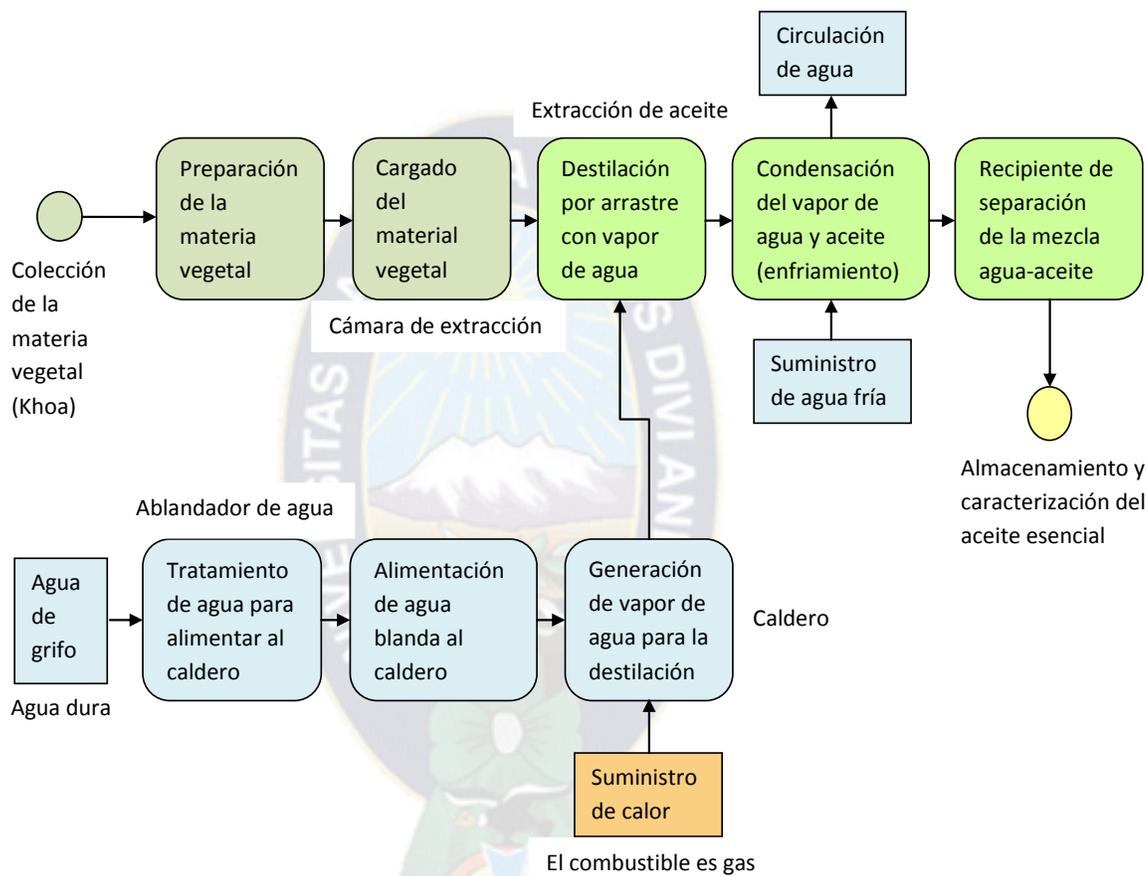
### **3.3.- Proceso extractivo a escala piloto y sus fundamentos**

Cuando se usa vapor saturado o sobrecalentado, generado fuera del equipo principal, ya sea por un caldero, una olla de presión o un matraz adecuado, esta técnica recibe el nombre de “destilación por arrastre con vapor”, propiamente dicha.

También se puede usar el llamado “método directo”, en el que el material está en contacto íntimo con el agua generadora del vapor. En este caso, se ponen en el mismo recipiente el agua y el material a extraer, se calientan a ebullición y el aceite extraído es arrastrado junto con el vapor de agua hacia un condensador, que enfría la mezcla, la cual es separada posteriormente para obtener el producto deseado. Este método es usado de preferencia cuando el material a extraer es líquido o cuando se utiliza de forma esporádica.

Una variante de esta última técnica es la llamada “hidrodestilación”, en la que se coloca una trampa al final del refrigerante, la cual va separando el aceite del agua condensada, con lo cual se mejora y se facilita el aislamiento del aceite esencial. También puede montarse como un reflujo, con una trampa de Clevenger para separar aceites más ligeros que el agua.

En general, estas técnicas se utilizan cuando los compuestos cumplen con las condiciones de ser volátiles, inmiscibles con agua, tener presión de vapor baja y punto de ebullición alto.



Fuente: elaboración propia, 2011

**Figura 6.** Diagrama del proceso de destilación del aceite esencial a escala piloto.

El vapor de agua condensado acompañante del aceite esencial es llamado “agua floral” y posee una pequeña concentración de los compuestos químicos solubles del aceite esencial, lo cual le otorga un ligero aroma, semejante al del aceite obtenido. En algunos equipos industriales, el agua floral puede ser reciclada continuamente, o bien, es comercializada como un subproducto (Agua de Colonia, Agua de Rosas, etc.).

En el laboratorio, la temperatura de destilación suele ajustarse de manera que caiga una gota por segundo. Por lo tanto puede iniciar colocando el reóstato a una temperatura media y luego, cuando comience la ebullición, terminar de ajustarlo. La condensación del vapor debe producirse en la parte baja del condensador. El tiempo de reflujo empieza a partir de que cae la primera gota de vapor condensado.

La obtención de aceites esenciales debe realizarse de acuerdo a las condiciones en la cual se presenta en la planta. Si el aceite está presente y formado en grandes cantidades, puede ser extraído por el simple método de presión (aceite de cítricos), también conocido como extrusión. En la mayoría de casos, el aceite esencial está presente en cantidades muy pequeñas en las plantas, que con solo aplicar la presión para exprimirlos no da resultados. En estos casos el aceite es obtenido por destilación. La materia prima es cargada en un alambique, se agrega agua y se lleva a ebullición, o se introduce vapor vivo, generado en una caldera. El vapor reblandece o rompe las paredes de las glándulas aceitosas, libera el aceite y lo arrastra hacia el condensador, donde el vapor de aceite y el vapor de agua son re licuados por enfriamiento, y colectado en un separador automático llamado vaso florentino (Cano Morales, 2002).

De manera general, la hidrodestilación se describe de la siguiente manera: La materia prima vegetal es cargada en un hidrodestilador, de manera que forme un lecho fijo compactado. Su estado puede ser molido, cortado, entero o la combinación de éstos. El vapor de agua es inyectado mediante un distribuidor interno, próximo a su base y con la presión suficiente para vencer la resistencia hidráulica del lecho. La generación del vapor puede ser local (hervidor), remota (caldera) o interna (base del recipiente). Conforme el vapor entra en contacto con el lecho, la materia prima se calienta y va liberando el aceite esencial contenido y éste, a su vez, debido a su alta volatilidad se va evaporando. Al ser soluble en el vapor circundante, es “arrastrado”, corriente arriba hacia el tope del hidrodestilador. La mezcla, vapor saturado y aceite esencial, fluye hacia un condensador, mediante un “cuello de cisne” o prolongación curvada del conducto de salida del hidrodestilador. En el condensador, la mezcla es

condensada y enfriada, hasta la temperatura ambiente. A la salida del condensador, se obtiene una emulsión líquida inestable. La cual, es separada en un decantador dinámico o florentino.

Este equipo está lleno de agua fría al inicio de la operación y el aceite esencial se va acumulando, debido a su casi inmiscibilidad en el agua y a la diferencia de densidad y viscosidad con el agua. Posee un ramal lateral, por el cual, el agua es desplazada para favorecer la acumulación del aceite. El vapor condensado acompañante del aceite esencial y que también se obtiene en el florentino, es llamado “agua floral”. Posee una pequeña concentración de los compuestos químicos solubles del aceite esencial, lo cual le otorga un ligero aroma, semejante al aceite obtenido. Si un hervidor es usado para suministrar el vapor saturado, el agua floral puede ser reciclada continuamente. De otro modo, es almacenada como un sub-producto. El proceso termina, cuando el volumen del aceite esencial acumulado en el florentino no varíe con el tiempo. A continuación, el aceite es retirado del florentino y almacenado en un recipiente y en lugar apropiado. El hidrodestilador es evacuado y llenado con la siguiente carga de materia prima vegetal, para iniciar una nueva operación.

Dependiendo de la forma del recipiente, se utiliza una rejilla para separar la carga de material del distribuidor, o se usa una cesta donde se deposita la carga y es retirada más rápidamente, al terminar el proceso.

El apoyo a esta tecnología, para modernizarla y optimizarla, recae en conocer sus antecedentes; en el control operacional de los equipos; en el efecto de las variables y parámetros operacionales en el rendimiento. Además, de integrar lo anterior, en una metodología científica, capaz de ser aplicada a cualquier materia prima o tipo de equipo. Logrando así, mejorar el rendimiento en la producción y el disminuir el consumo energético de manera homogénea y permanente en el tiempo.

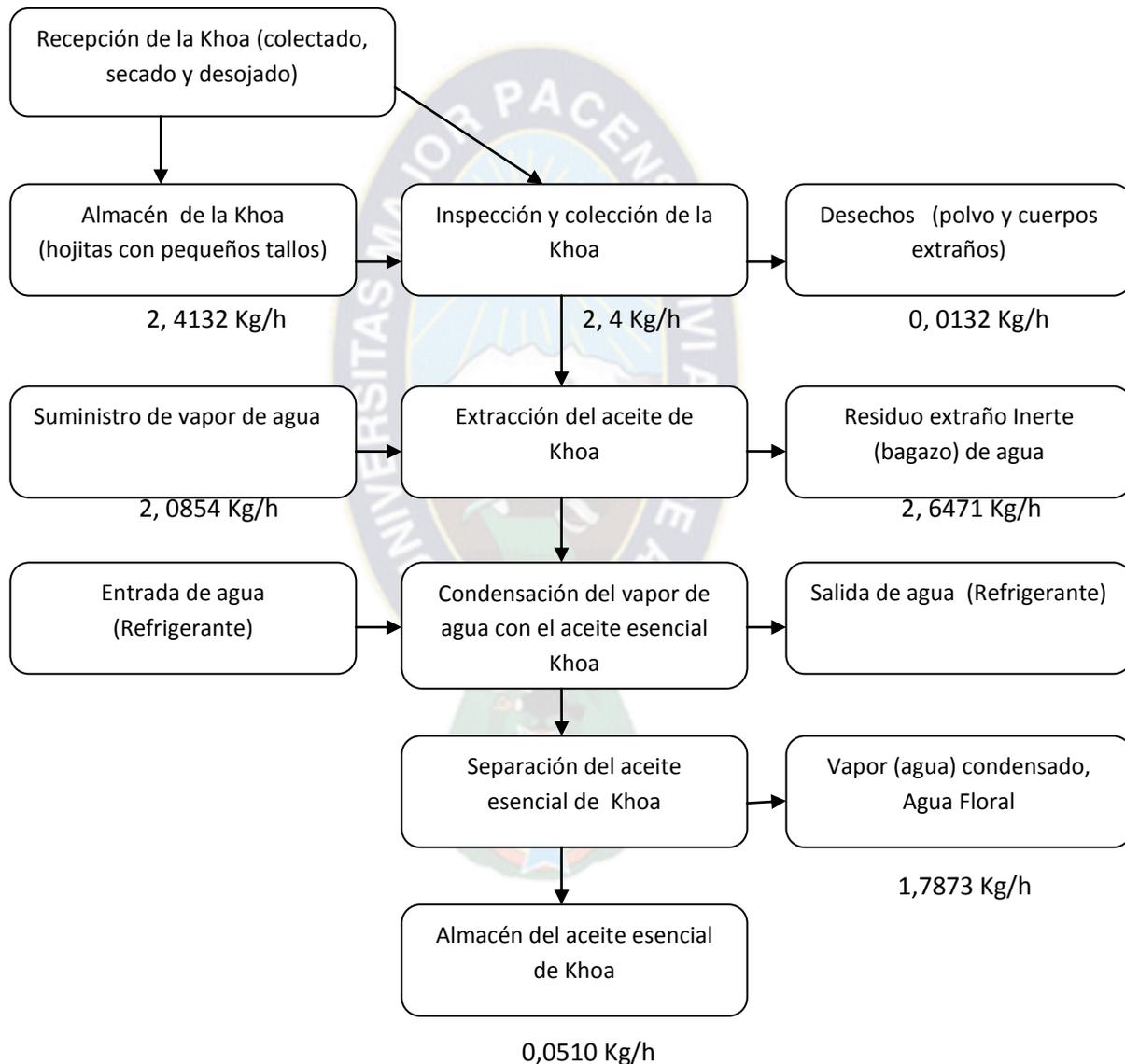
Un problema común en la producción de los aceites esenciales radica en la diversidad de los rendimientos obtenidos para una misma planta aromática. Lo cual se debe al nivel de producción, al tipo de hidroddestilador usado, a las condiciones de cultivo, a las condiciones térmicas del vapor usado, al contenido de agua en la planta y a otros factores adicionales. Este hecho genera que sea complicado elegir apropiadamente una planta para su industrialización, basándose exclusivamente en pocas pruebas. Y en mantener un rendimiento óptimo y una calidad permanente de los aceites obtenidos. Por ello, se suele recomendar un conjunto de pruebas, a escala banco o piloto, para conocer el rendimiento real de una planta aromática. Las condiciones de operación deben ser las más similares a las de la escala industrial, para evitar distorsiones en el rendimiento esperado y disminuir la incertidumbre. La necesidad de establecer una metodología para disponer de un conjunto de pruebas experimentales confiables y reproducibles es prioritaria y determinará la real eficiencia y eficacia de la hidroddestilación para obtener un aceite esencial de una potencial planta aromática a industrializar (Cerpa, 2007).

Para el presente trabajo, el proceso extractivo a escala piloto, se ha realizado según el diagrama mostrado en la figura 6. El cual muestra toda la secuencia del proceso mediante un diagrama de bloques, desde la materia prima (Khoa) hasta la obtención del aceite esencial.

**Capítulo 4. Metodología**

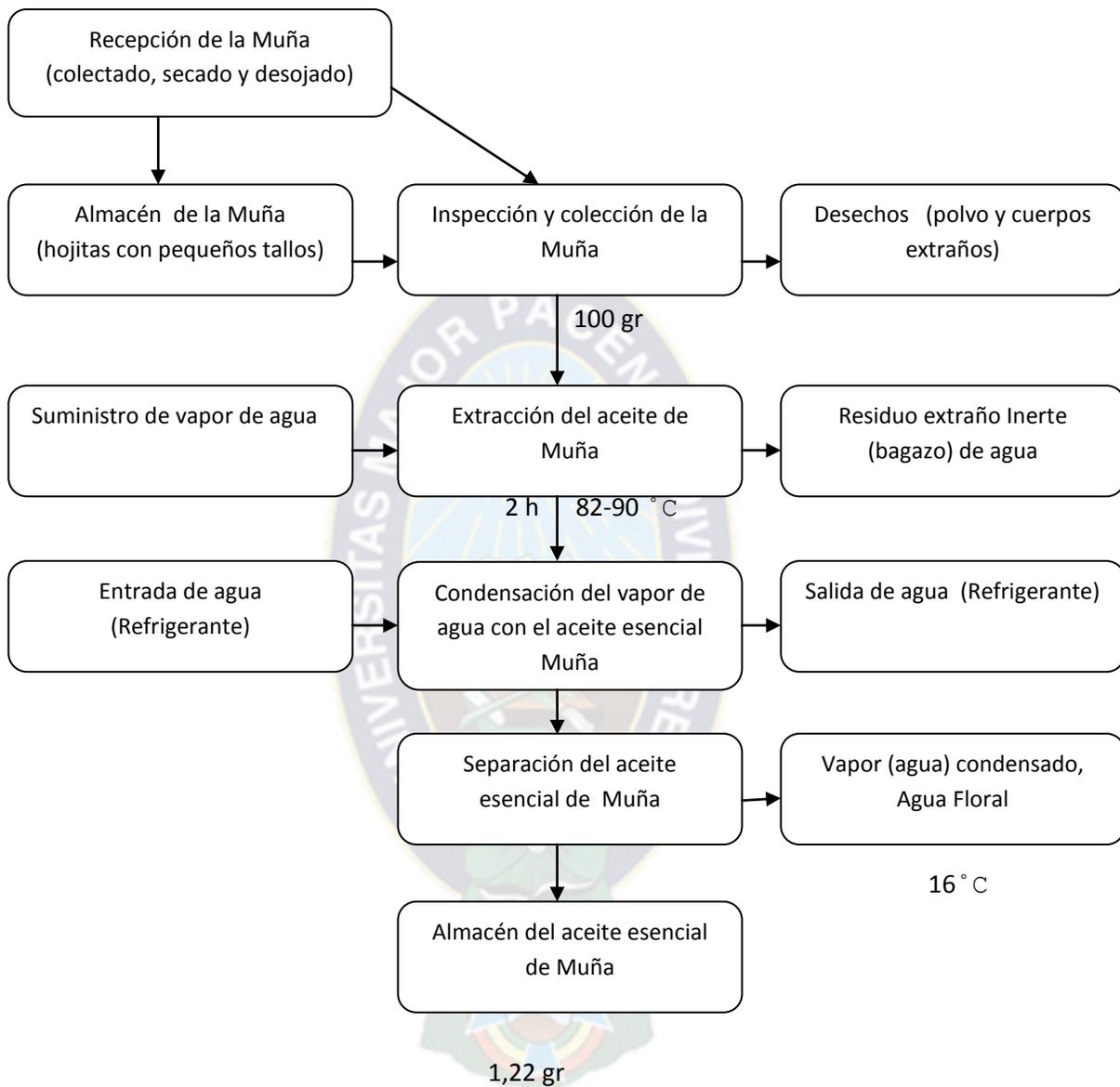
**4.1.- Propiedad fisicoquímica y rendimiento de los aceites esenciales (khoa, muña y ajenjo), extraídos en laboratorio**

**a) Flujograma del proceso de obtención del aceite esencial de Khoa**



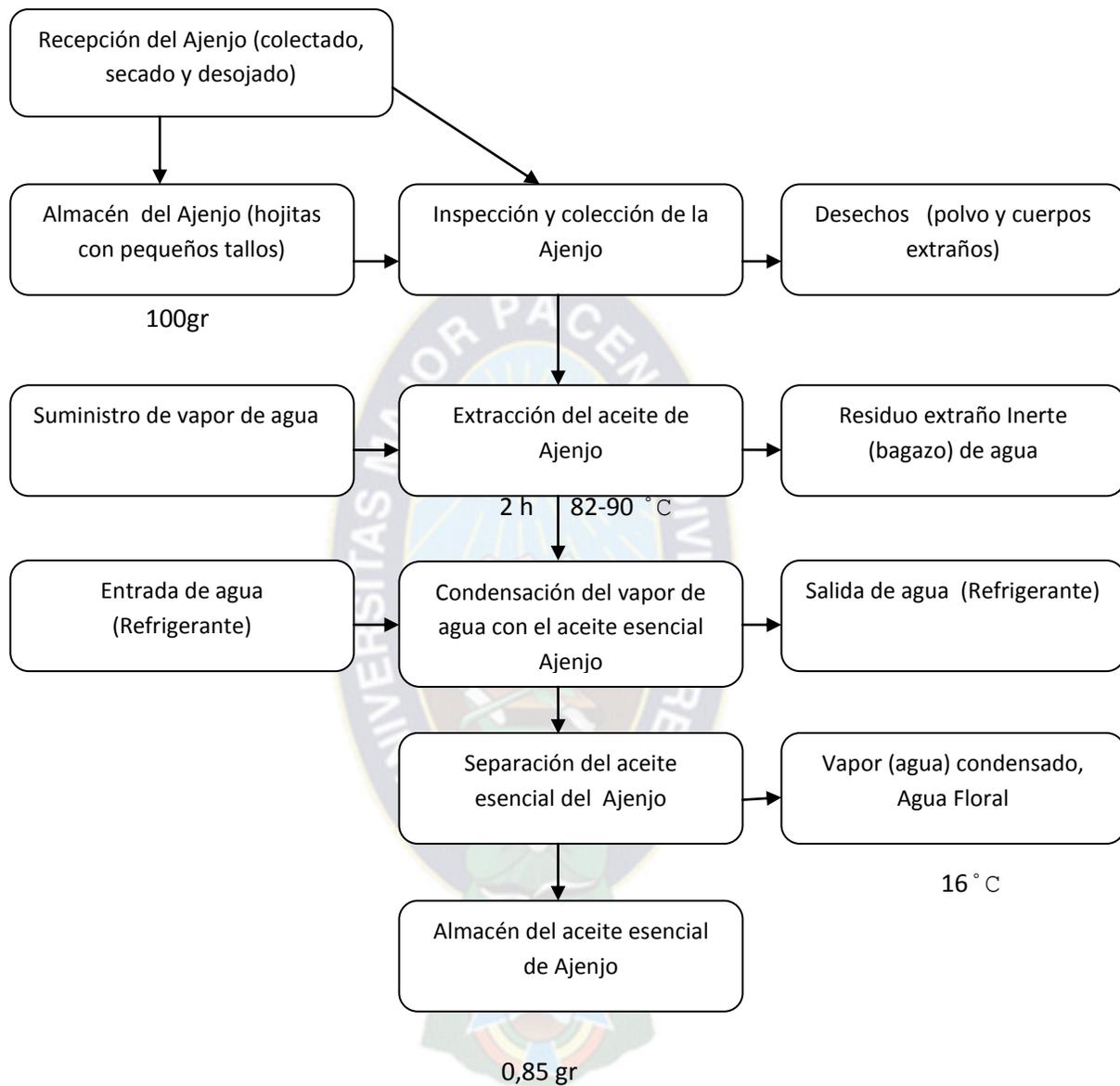
**Figura 7.** Flujograma del balance de materia de la extracción de aceite esencial de Khoa

**b) Flujograma del proceso de obtención del aceite esencial de Muña**



**Figura 8.** Flujograma del balance de materia de la extracción de aceite esencial de Muña

**c) Flujograma del proceso de obtención del aceite esencial de Ajenjo**



**Figura9.** Flujograma del balance másico de la extracción de aceite esencial de Ajenjo

#### 4.1.1.- Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales

Para la caracterización se han seguido los instructivos de:

NB 75003 Aceites esenciales - Preparación de muestras de ensayo, Agosto 2005.

NB 75004 Aceites esenciales - Determinación de la miscibilidad en etanol, Agosto 2005.

NB 75005 Aceites esenciales - Determinación de densidad relativa a 20°C, Agosto 2005.

NB 75006 Aceites esenciales - Determinación del índice de acidez, Agosto 2005.

NB 75007 Aceites esenciales - Determinación del índice de refracción, Agosto 2005.

NB 75008 Aceites esenciales - Determinación del poder rotatorio, Agosto 2005.

NB 75009 Aceites esenciales - Determinación del punto de congelación, Agosto 2005.

NB 75010 Aceites esenciales-Determinación del residuo de evaporación, Agosto 2005.

NB 75012 Aceites esenciales-Determinación del contenido en fenoles, Agosto 2005.

NB 75013 Aceites esenciales-Determinación del índice de Ester, Agosto 2005.

NB 75015 Aceites esenciales-Determinación del valor CD por espectrofotometría ultravioleta, Diciembre 2005.

NB 75020 Aceites esenciales-Determinación del color, Noviembre 2006.

Para la determinación se han utilizado consideraciones técnicas y expresiones matemáticas que a continuación se detallan, con los siguientes incisos:

##### a) Densidad Relativa a 20°C

$$DR = \frac{\text{Picnómetro con aceite esencial} - \text{Picnómetro vacío}}{\text{Picnómetro con agua destilada} - \text{Picnómetro vacío}}$$

##### b) Residuos de Evaporación a 55°C

$$RE = \frac{\text{Aceite esencial, después de la evaporación}}{\text{Aceite esencial, antes de la evaporación}} \times 100\%$$

**c) Índice de Acidez**

$$IA = \frac{\text{Volumen gastado de KOH} * \text{Concentración de KOH} * 56,11}{\text{Cantidad de Aceite Esencial}}$$

Solución etanólica estandarizada:

La concentración de hidróxido de potasio es de 0,1022 N.

**d) Índice de Ester**

$$IE = \frac{28,05}{m} (V_o - V_1) - IA$$

Dónde:

$V_o$  → Volumen de HCL Utilizado en el ensayo en blanco

$V_1$  → Volumen de HCL Utilizado en la prueba

$m$  → Cantidad de aceite esencial utilizado

$IA$  → Valor del Índice de Acidez

Solución acuosa estandarizada:

La concentración de ácido clorhídrico es de 0,4998 N

**e) Determinación del Color**

Soluciones madres:

Agua destilada

Dicromato de potasio al 0,5 % (P/V)

Verde de bromocresol al 0,025% (P/V)

Las soluciones coloreadas de referencia, que se prepararon inicialmente, se vertieron en microtubos con tapón, colocados a un solo nivel con sus respectivos números, para luego ser comparadas con los aceites, colocados también en micro tubos de la misma forma.

#### **f) Punto de congelación**

El termómetro utilizado para la determinación, es un termómetro de bolso (Digital Thermometer) modelo Q401B -1,5 VDC (Batería)- OW, Marca QUIMIS y el rango de temperatura es de -50°C hasta 200°C.

#### **g) Miscibilidad en etanol a 20° C**

Mezclas hidroalcohólicas

Etanol al 50%,55%,60%,65%,70%,75%,80%,85%, 90%, y 95% (v/v)

Solución patrón de opalescencia:

50 ml de cloruro de sodio al 0,000 mol/l

0,5 ml de Nitrato de plata al 0,1 N

1 gota de ácido nítrico concentrado

\*Si no es posible conseguir una solución limpia, pero si una solución opalescente en el momento de solubilizarse a 20 volúmenes, comparar con la solución patrón.

#### **h) Contenido en fenoles**

$$\% \text{ fenoles} = 10 (10 - V)$$

Dónde:  $V \rightarrow$  Volumen de la fracción de aceite no transformado

La cantidad de aceite esencial a utilizar es 10 ml

El porcentaje de fenoles esta en relación volumen-volumen es decir (v/v)

**i) Índice de Refracción;  $n_D^t$** 

$$n_D^t = n_D^{t'} + 0,004 (t' - t)$$

Dónde:  $n_D^{t'}$  → Valor de lectura obtenida a la temperatura de trabajo ( $t'$ )

$t$  → Temperatura de referencia: 20°C

Característica del Refractómetro de mesa utilizado:

Robusto y estable, usa la luz natural

Excelente definición del campo visual

Ocular con ajuste para focalización

Rango de medición del Índice de Refracción: 1,300 a 1,700

Rango de medición de Brix: 0 a 95%

Precisión en la medición de Brix:  $\pm 0,1\%$

Precisión en la medición del índice de Refracción:  $\pm 0,0003$

Valor mínimo de lectura en la escala del índice de refracción: 0,0005

Valor mínimo de lectura en escala de Brix: 0,25%

Prismas con ductos para la termostatación de la muestra entre 0 y 70°C, donde se debe acoplar el baño ultra termostático de circulación Q214S2 (opcional).

No indicado para diagnósticos en Salud

No posee compensación automática de temperatura

Incluye termómetro, patrón sólido para índice de Refracción y manual de instrucciones.

**j) Poder Rotatorio;  $\alpha_D^{t'}$** 

$$\alpha_D^{t'} = \frac{A}{\lambda} * 100$$

Dónde:

$A$  → Angulo de rotación en mili radianes y/o grados de ángulo

$\lambda$  → Longitud del tubo utilizado: 100 mm

Características del Polarímetro de disco utilizado:

Rango de rotación óptica de 0 a +180° (dextrógiro), y de 0 a -180° (levógiro)

Valor de división de 1 en 1 grado,

Lectura final a través de vernier

Factor de aumento del ocular de hasta 4x, ajustable

Fuente de luz monocromática con lámpara de sodio de 589,3 nanómetros,

Compartimiento de muestras para tubo de muestra de 10 a 20 cm,

Cable de fuerza con doble aislamiento y enchufe con tres pines, dos fases y una tierra

#### k) Valor CD por espectrofotometría ultravioleta

$$\text{Valor CD} = \frac{\text{Segmento CD}}{m}$$

Dónde: Segmento CD → expresión en unidades de Absorbencia

m → masa en gramos de la muestra

Espectro → de 220 nm a 440 nm

Solventes: Metanol y Etanol de 95% (V/V)

Éter di etílico p.a. y n-Hexano p.a.

Cantidad de Aceite: 50 microlitros.

Densidad de Agua: 1,0310 g/ml ; donde:  $m = V * \delta$

Se utilizó un Espectrofotómetro marca SHIMADZU, para determinar absorbancias.

#### 4.1.2.- Rendimiento

Para la determinación del rendimiento a nivel laboratorio y piloto se aplicó las siguientes expresiones matemáticas, y se aclaran los valores numéricos, en las columnas de los cuadros 5, 6, 7 y 8, de la siguiente manera:

Vegetal seco: 1.- Dato inicial  
2.- Después de la extracción

Extracto:

- El teórico es la diferencia en el vegetal seco.
- El práctico es obtenido directamente de la operación.

Rendimientos:

$$\%R (\text{aceite}) = \frac{\text{Extracto práctico}}{\text{Vegetal seco al inicio}} \times 100\%$$

$$\%R (\text{aceite}) = \frac{\text{Extracto Práctico}}{\text{Extracto Teórico}} \times 100\%$$

#### 4.2.- Efecto biocida del aceite esencial de khoa, sobre áfidos en laboratorio

Para la determinación de la CL 50, se han colectado pulgones de rosal y repollo. Se han preparado diferentes concentraciones de aceite esencial de Khoa-Ambana en agua (1/10 hasta 1/1000000). Se prepararon discos de papel filtro del diámetro interno de cajas Petri. El papel se humedeció por inmersión de la dilución del aceite esencial. Se eliminó el excedente por capilaridad sobre otros pedazos de papel filtro.

Se depositó el papel filtro en caja petri. Los pulgones de repollo (n=10) se dejaron sobre el papel filtro impregnado en la dilución respectiva. Para la evaluación se consideraron el número de pulgones muertos (volteados, con dirección superior, pérdida de color y sin movimiento alguno) desde el tiempo cero hasta las 48 horas.

Para el cálculo de la letalidad a la aplicación de la dosificación se ha utilizado el procedimiento señalado por Vincent (2008) y para la determinación de la CL se han transformado los datos de concentración en su logaritmo decimal y el resultado de

número de muertos por concentración y por tiempo de evaluación en unidades Probit (*Probability unit*) Silva Aguayo (2004).

#### **4.3.- Caracterización fisicoquímica del aceite de khoa, extraído a escala piloto por arrastre de vapor**

La colecta de la especie, se realizó según los detalles del capítulo 3, de estudio técnico para el establecimiento del proceso de extracción a nivel piloto, y se realizó la caracterización del mismo modo que los aceites esenciales extraídos a nivel laboratorio.

Para realizar el cálculo del balance de materia se hizo el planteamiento de los diagramas y ecuaciones de balance, según el libro de Balance de materia y energía en su capítulo de sistemas no reaccionantes (Reklaitis, 1990).

#### **4.4.- Inversión del proyecto**

Para la determinación de la inversión del proyecto, se ha tomado como referencia el acápite de cálculo, de los capítulos 6 y 7, del libro “Preparación, Evaluación y Administración de Proyectos de Inversión” (Ramallo,2005).

Con los datos experimentales y el balance de materiales, se han calculado:

- Costo de producción
- Costo unitario
- Precio de venta
- Beneficio neto
- Inversión total

#### **4.5.- Análisis de resultados**

a) Los datos numéricos de las evaluaciones realizadas por triplicado y hasta 6 réplicas, se ordenaron en cuadros, de las que obtuvieron la media, desviación estándar y

coeficiente de variación (Estadística descriptiva), con lo cuales se elaboraron los cuadros y gráficos correspondientes.

Asimismo, los resultados se ajustaron a la expresión de datos señalados en cada norma aplicada en el acápite de expresión de resultados.

**b)** En el proceso de extracción a nivel piloto, los resultados de balance se han realizado sobre la octava extracción (8Kg de materia prima), con lo que se aplicó y elaboró los procedimientos de balance con esquemas, gráficos, que también sirvieron para realizar el análisis económico.



## Capítulo 5.Resultados

Los resultados del trabajo fueron los siguientes:

### 5.1.- Resultados de la obtención de aceites esenciales a nivel laboratorio

Los volúmenes de aceite esencial (ml), han sido obtenidos por arrastre con vapor de agua, para cada 100 gramos de material vegetal seco. En las siguientes condiciones:

- Tiempo de destilación; 2 horas
- Temperatura de operación; 82°C y 90°C
- Temperatura de salida del vapor (agua-aceite) condensado; 16°C

**Cuadro4. Datos experimentales de la extracción de aceites, a nivel laboratorio**

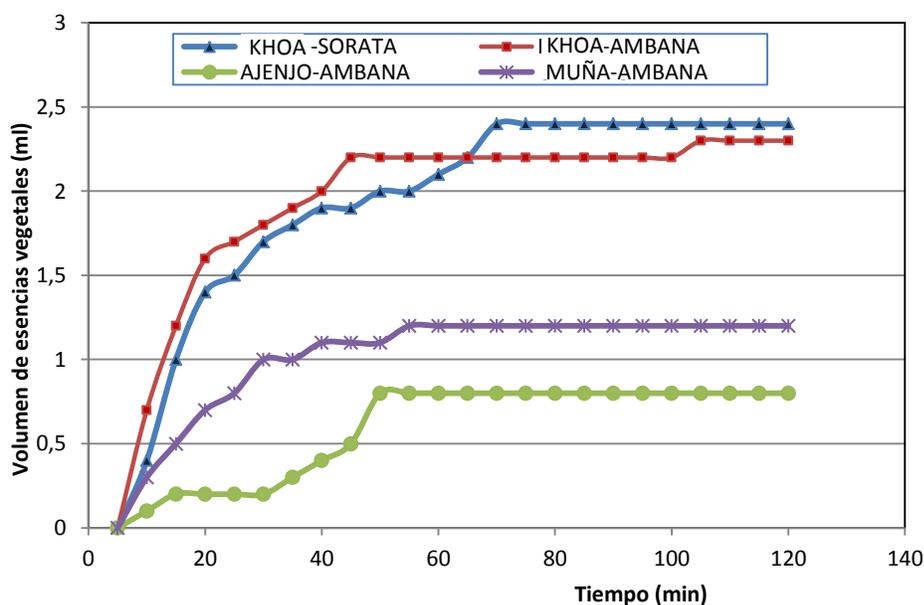
Datos #	Tiempo (min)	Volumen de esencias vegetales (ml)			
		1	2	3	4
1	5	0	0	0	0
2	10	0,4	0,7	0,1	0,3
3	15	1,0	1,2	0,2	0,5
4	20	1,4	1,6	0,2	0,7
5	25	1,5	1,7	0,2	0,8
6	30	1,7	1,8	0,2	1,0
7	35	1,8	1,9	0,3	1,0
8	40	1,9	2,0	0,4	1,1
9	45	1,9	2,2	0,5	1,1
10	50	2,0	2,2	0,8	1,1
11	55	2,0	2,2	0,8	1,2
12	60	2,1	2,2	0,8	1,2
13	65	2,2	2,2	0,8	1,2
14	70	2,4	2,2	0,8	1,2
15	75	2,4	2,2	0,8	1,2
16	80	2,4	2,2	0,8	1,2
17	85	2,4	2,2	0,8	1,2
18	90	2,4	2,2	0,8	1,2
19	95	2,4	2,2	0,8	1,2
20	100	2,4	2,2	0,8	1,2
21	105	2,4	2,3	0,8	1,2
22	110	2,4	2,3	0,8	1,2
23	115	2,4	2,3	0,8	1,2
24	120	2,4	2,3	0,8	1,2

Aclaración del volumen de esencias vegetales, en el cuadro 4, de datos experimentales:

- 1.- Aceite esencial de Khoa, proveniente de Sorata
- 2.- Aceite esencial de Khoa, proveniente de Ambana
- 3.- Aceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana
- 4.- Aceite esencial de muña, proveniente de Ambana

### 5.1.1. Establecimiento del tiempo adecuado en la extracción de aceites esenciales

Sobre una base de 100 g de materia prima seca, que se ha evaluado desde 5 hasta 120 minutos (cada 5 minutos) a fin de obtener el rendimiento en cada uno de los casos.



**Figura 10.** Rendimiento en volumen de aceites esenciales de *Clinopodium bolivianum* (Khoa) por tiempo de extracción por arrastre de vapor a escala laboratorio.

Como se observa en la figura 10, el tiempo aproximado de extracción de aceite esencial a partir de 100g de materia seca es de 50 a 80 minutos. Asimismo, se ha

establecido según las condiciones experimentales, que tiene mayor rendimiento en aceite esencial la especie Khoa (Sorata y Ambana) y menor rendimiento en aceite esencial la especie ajeno.

El rendimiento en aceites esenciales (Elder, 2002), en la mayoría de las especies aromáticas está entre 0,4 a 1,3 % en promedio. En el presente trabajo con la especie *Satureja boliviana* se alcanzado valores superiores a la media general.

### 5.1.2. Rendimiento en aceite esencial por especie y procedencia

En las regiones de Ambana y Sorata, se ha evidenciado que las especies planteadas para el trabajo desarrollan. Sin embargo, la cantidad es variable; en Ambana se encuentran con mucha facilidad la especie khoa, muña; el ajeno ha sido de difícil de ubicar y coleccionar. En Sorata ha sido fácil encontrar, coleccionar la khoa, sin embargo, el ajeno y cruz muña muy difícil de ubicar y coleccionar suficiente cantidad.

En este sentido, se ha logrado establecer los rendimientos a escala laboratorio de Khoa, muña y ajeno coleccionados en Ambana y Khoa coleccionada de Sorata.

A continuación, se muestran la serie de datos, de rendimiento de aceite esencial de las especies, en los cuadros 5, 6, 7, y 8, producto de una serie de cinco repeticiones a tiempos de extracción previamente establecidos.

**Cuadro5. Rendimiento (n=5) en aceite esencial de khoa, proveniente de Sorata**

Datos #	Vegetal seco (g)		Extracto (g)		Rendimiento (%)	
	1	2	Teórico	Practico	Aceite	Operación
1	115	112,03	2,97	2,61	2,27	87,88
2	90	87,49	2,51	2,24	2,49	89,24
3	105	102,05	2,95	2,69	2,56	91,19
4	105	101,76	3,24	2,79	2,66	86,11
5	117	113,50	3,50	2,80	2,39	80,00
<b>Promedios</b>					<b>2,47</b>	<b>86,88</b>

**Cuadro6. Rendimiento (n=5) enaceite de khoa, proveniente de Ambana**

Datos #	Vegetal seco (g)		Extracto (g)		Rendimiento (%)	
	1	2	Teórico	Practico	Aceite	Operación
1	105	102,10	2,90	2,52	2,40	86,90
2	115	112,09	2,91	2,68	2,33	92,10
3	105	101,67	3,33	2,64	2,51	79,28
4	90	87,59	2,41	2,13	2,37	88,38
5	105	102,12	2,88	2,57	2,45	89,24
<b>Promedios</b>					<b>2,41</b>	<b>87,18</b>

**Cuadro7. Rendimiento (n=5) enaceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana**

Datos #	Vegetal seco (g)		Extracto (g)		Rendimiento (%)	
	1	2	Teórico	Practico	Aceite	Operación
1	115	106,14	0,86	0,77	0,67	89,53
2	85	84,26	0,74	0,70	0,82	94,59
3	90	88,99	1,01	0,86	0,96	85,15
4	95	94,04	0,96	0,87	0,92	90,62
5	105	104,02	0,98	0,92	0,88	93,88
<b>Promedios</b>					<b>0,85</b>	<b>90,75</b>

**Cuadro8. Rendimiento (n=5) enaceite esencial de muña, proveniente de Ambana**

Datos #	Vegetal seco (g)		Extracto (g)		Rendimiento (%)	
	1	2	Teórico	Practico	Aceite	Operación
1	95	93,52	1,48	1,17	1,23	79,05
2	113	111,45	1,55	1,32	1,17	85,16
3	100	98,42	1,58	1,24	1,24	78,48
4	80	78,62	1,38	0,97	1,21	70,29
5	105	103,41	1,59	1,31	1,25	82,39
<b>Promedios</b>					<b>1,22</b>	<b>79,07</b>

En el cuadro 9, se aprecia que el aceite de khoa de Ambana está en un promedio de  $2,41 \pm 0,03$  % en peso, con un coeficiente de variación de 1,3%. En cambio el aceite esencial de la misma especie proveniente de Sorata alcanzó un promedio de  $2,47 \pm 0,07$ %, con un coeficiente de variación de 2,73%. La otras dos especies como el ajenjo alcanza a una media de  $0,85 \pm 0,05$  % con un coeficiente de variación de 5,9%; y en aceite esencial de muña  $1,22 \pm 0,01$  en peso con un coeficiente de variación de 1,16%.

### 5.1.3.- Expresión de los resultados del rendimiento de los aceites esenciales

**Cuadro 9. Resultados del rendimiento de los aceites esenciales a nivel laboratorio**

Aceite esencial	Procedencia	Promedio (%)	$\sigma$ (%)	$\sigma/\sqrt{n}$ (%)	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (%)
Khoa	Ambana	2,41	0,0701	0,0314	1,30	2,41 $\pm$ 0,03
Khoa	Sorata	2,47	0,1508	0,0674	2,73	2,47 $\pm$ 0,07
Ajenjo	Ambana	0,85	0,1131	0,0506	5,95	0,85 $\pm$ 0,05
Muña	Ambana	1,22	0,0316	0,0141	1,16	1,22 $\pm$ 0,01

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absolutoX100/valor medio, n =Número de datos

Si comparamos numéricamente los resultado, la khoa proveniente de ambas regiones presentan el mayor rendimiento, cruz muña presenta un rendimiento intermedio y el ajenjo muestra el menor rendimiento. Según Elder et al (2002), las especies aromáticas en general producen desde 0,4 % hasta 1,3 % (relación de kilos de aceite obtenido sobre kilos de material verde a procesar), existiendo especies que pueden producir mayor porcentaje, como del eucalipto que llega hasta 6 a 13 % en la nuez moscada (FIGMAY S.R.L. 2011). Collura (1965), había reportado que la *Satureja* cultivada en colinas tenía un rendimiento en aceite esencial de 0,9% y cuando esta se colectaba de montañas el rendimiento alcanzaba 1,6% en los paisajes del norte Argentino. En Bolivia, Sorata está a 2700 m.s.n.m., y Ambana a 1800 m.s.n.m.; lo que explicaría el mayor rendimiento de la especie *Satureja* o *Clinopodium bolivianum*. El ajenjo según FIGMAY (2011), posee un rendimiento de 1 a 2% en aceite esencial, en el presente trabajo se obtuvo un rendimiento menor, que se debería a que no es propia de la región ya que se indica que fue introducida desde Europa. En cambio de la muña siendo una especie originaria de América, es considerada muy variable en cuanto a su rendimiento debido a que existe varias variedades y a su desarrollo (Schmidt, 2008).

### 5.1.4.- Caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales

#### 5.1.4.1.- Características organolépticas de los aceites esenciales

Este indicador, nos enseña la calidad en aspecto, olor, color y sabor que los sentidos pueden percibir. En cuadro 10, en cuanto al sabor todos son muy picantes, en el olor la khoa y muña son agradables y mentolado, en cambio el ajeno es irritante y desagradable (pudiendo provocar nauseas). En cuanto al aspecto todos son oleosos y el ajeno además posee tintura, que se atribuiría a la presencia del azuleno y camazuleno.

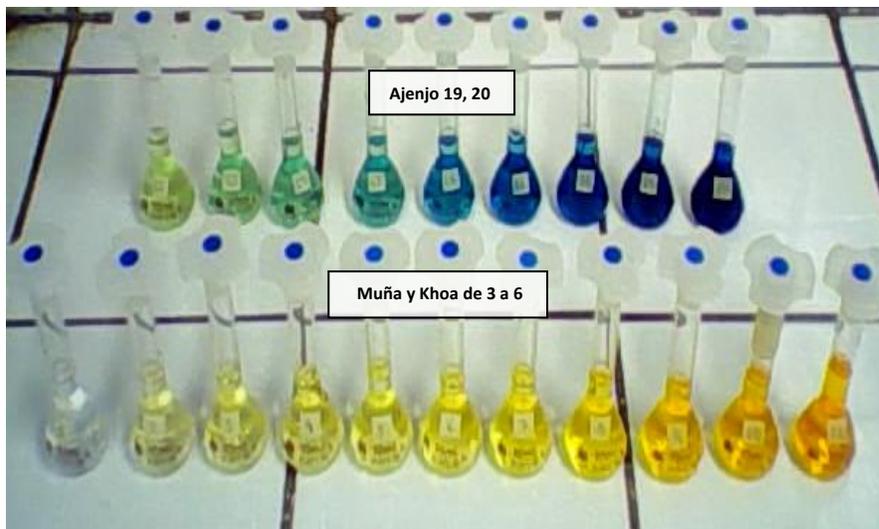
**Cuadro 10. Resultados de la caracterización organoléptica**

Aceite esencial	Procedencia	Aspecto	Olor	Sabor
Khoa	Ambana	Líquido oleoso y transparente.	Agradable y mentolado.	Muy picante
Khoa	Sorata	Líquido oleoso con tintura.	Agradable y mentolado.	Muy picante
Ajeno	Ambana	Líquido oleoso y transparente.	Desagradable y penetrante.	Muy picante
Muña	Ambana	Líquido oleoso y transparente.	Más agradable y mentolado.	Muy picante

#### 5.1.4.1.1.- Resultados de la determinación del Color, según NB 75020

**Cuadro 11. Rango de colores, según las soluciones patrones**

Aceite esencial	Región	Mínimo	Máximo
Khoa	Sorata	Solución 4	Solución 6
Khoa	Ambana	Solución 4	Solución 5
Ajeno	Ambana	Solución 19	Solución 20
muña	Ambana	Solución 3	Solución 5



**Figura11.** Escala de colores para la determinación del color de los aceites esenciales.

La calidad de aceites esencial al evaluarse por el color, se espera se compara con una serie de patrones de color. El resultado depende de la especie que provenga el aceite, así, el ajenjo por el azuleno, presentó un color en la escala de 19 a 20 (azul intenso) y los aceites de khoa y muña han presentado una coloración en la escala desde 3 a 6 (tonalidades del amarillo), figura11, cuadro11. Lo interesante es que el aceite de muña tiende a ser más transparente y ligeramente amarillo en comparación con el aceite de Khoa que si bien es transparente, es más amarillo. Los usuarios de aceites esenciales catalogan al aceite de calidad o confiable aquellos que son translúcidos con color variable y que además estén conservados en envase de vidrio ámbar.

**5.1.4.2- Propiedades físicas de los aceites esenciales**

**a) Densidad Relativa a 20°C, según NB 75005**

**Cuadro 12. Aceite de Khoa, proveniente de Sorata**

Dato #	Picnómetro de cinco mililitros			Densidad Relativa
	Vacio (g)	Agua (g)	Aceite (g)	
1	10,0407	15,0929	14,8672	0,9553
2	10,3465	15,0808	14,8581	0,9530
3	9,8946	14,6387	14,4199	0,9539

**Cuadro 13. Aceite de Khoa, proveniente de Ambana**

Dato #	Picnómetro de cinco mililitros			Densidad Relativa
	Vacio (g)	Agua (g)	Aceite (g)	
1	10,0413	15,0973	14,8765	0,9563
2	8,8150	14,1782	13,9436	0,9562
3	9,8827	14,9281	14,7053	0,9558

**Cuadro 14. Aceite de Ajenjo, proveniente de Ambana**

Dato #	Picnómetro de cinco mililitros			Densidad Relativa
	Vacio (g)	Agua (g)	Aceite (g)	
1	8,8150	14,1696	13,6282	0,8989
2	10,0407	15,0873	14,5645	0,8964
3	10,0413	15,0959	14,5763	0,8972

**Cuadro 15. Aceite de muña, proveniente de Ambana**

Dato #	Picnómetro de cinco mililitros			Densidad Relativa
	Vacio (g)	Agua (g)	Aceite (g)	
1	9,8827	14,9301	14,5303	0,9208
2	10,3465	15,0722	14,6875	0,9186
3	9,8946	14,6390	14,2656	0,9213

En los cuadros, 12, 13, 14 y 15 se muestran los datos que resultaron de 3 repeticiones en la medida de la densidad relativa. Entre ellos la densidad más baja corresponde al aceite de ajenjo y la densidad más elevada al aceite de *Clinopodium bolivianum*, antes llamado *Satureja boliviana*.

**Cuadro 16. Resultados de la densidad relativa a 20°C**

Aceite esencial	Procedencia	Promedio	$\sigma$	$\sigma/\sqrt{n}$	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (%)
Khoa	Ambana	0,9561	0,0003	0,0002	0,02	0,9561±0,0002
Khoa	Sorata	0,9541	0,0012	0,0007	0,07	0,9541±0,0007
Ajenjo	Ambana	0,8975	0,0013	0,0007	0,08	0,8975±0,0007
Muña	Ambana	0,9202	0,0014	0,0008	0,09	0,9202±0,0008

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absolutoX100/valor medio,

n =Número de datos

La densidad de los aceites esenciales en promedio estuvo entre  $0,8975 \pm 0,0007$  para el aceite esencial de ajeno, hasta  $0,9561 \pm 0,0002$  en el aceite de khoa proveniente de Ambana. Los coeficientes de variación para las repeticiones realizadas con cada aceite ( $n=3$ ) fueron menores al 1%, cuadro 16, lo que significa que los datos son confiables. Según Urruga y colab. (1995), reporta que el aceite esencial de S. boliviana tiene una densidad de 0,9247 a 20° C, que significaría que posee más componentes terpenados.

Al respecto, se indica que en general los aceites esenciales pueden presentar una densidad entre 0,84 a 1,18; siendo la gran mayoría de ellos menos densas que el agua. Asimismo, los valores bajos de densidad relativa se deben al alto contenido en hidrocarburos terpénicos. Los componentes deterpenados poseen densidades más elevadas, y en general a la presencia de componentes volátiles por lo que pueden indicar la presencia de aceites esenciales destilados (Di Giacomo y Mincione, 1994, mencionado por Albadejo, 1999).

#### b) Residuos de Evaporación a 55°C, según NB 75010

**Cuadro 17. Aceite esencial de Khoa, proveniente de Sorata**

Dato #	Vidrio de reloj vacío (g)	Vidrio de reloj con aceite		Residuo de Evaporación (%)
		Antes (g)	Después (g)	
1	35,0711	37,6237	36,2410	45,8317
2	37,7728	40,2944	38,9117	45,1658
3	37,7658	40,2845	38,8771	44,1220

**Cuadro 18. Aceite esencial de Khoa, proveniente de Ambana**

Dato #	Vidrio de reloj vacío (g)	Vidrio de reloj con aceite		Residuo de Evaporación (%)
		Antes (g)	Después (g)	
1	35,0721	37,5856	36,1555	43,1032
2	35,7679	38,3105	36,8485	42,4998
3	37,7744	40,3683	38,9448	45,1212

**Cuadro 19. Aceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana**

Dato #	Vidrio de reloj vacío (g)	Vidrio de reloj con aceite		Residuo de Evaporación (%)
		Antes (g)	Después (g)	
1	37,7658	40,2766	39,2628	59,6224
2	37,7744	40,2965	39,3911	64,1013
3	35,0982	37,6394	36,6300	60,2786

**Cuadro 20. Aceite esencial de Muña, proveniente de Ambana**

Dato #	Vidrio de reloj vacío (g)	Vidrio de reloj con aceite		Residuo de Evaporación (%)
		Antes (g)	Después (g)	
1	35,7666	38,2663	36,6898	36,9324
2	35,0711	37,5831	36,1026	41,0629
3	37,7728	40,2746	38,7278	38,1728

Los residuos de evaporación representan, la cantidad de sustancias poco volátiles que quedan después de un calentamiento (condiciones especificadas) y cuyo resultado es específico de cada aceite esencial. En los cuadros 17, 18,19 y 20 se cuentan con los datos de la cantidad de residuos de evaporación expresados en porcentaje por cada aceite esencial. De las tres repeticiones realizadas, el aceite de ajenjo presenta el mayor porcentaje de residuos y el aceite esencial de muña el menor porcentaje de residuos de evaporación.

**Cuadro 21. Resultados del residuo de evaporación a 55°C**

Aceite esencial	Procedencia	Promedio (%)	$\sigma$ (%)	$\sigma/\sqrt{n}$ (%)	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (%)
Khoa	Ambana	43,5747	1,3728	0,7926	1,82	43,5747 $\pm$ 0,7926
Khoa	Sorata	45,0398	0,8618	0,4976	1,10	45,0398 $\pm$ 0,4976
Ajenjo	Ambana	61,3341	2,4188	1,3965	2,28	61,3341 $\pm$ 1,3965
Muña	Ambana	38,7227	2,1194	1,2237	3,16	38,7227 $\pm$ 1,2237

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absoluto X100/valor medio, n =Número de datos

En el cuadro 21, se aprecian los promedios alcanzados, siendo  $43,6 \pm 0,8\%$  con un coeficiente de variación de 1,8% en el aceite de *khoa* proveniente de Ambana. El aceite esencial de la misma especie proveniente de Sorata muestra un promedio de  $45 \pm 0,5\%$  de residuos de evaporación con un coeficiente de variación del 1,1%; que numéricamente son diferentes. Con la especie Ajenjo, los residuos de evaporación fueron  $61,3 \pm 1,4\%$ , con un coeficiente de variación de 2,3%, datos promedio que son más altos. Finalmente, el porcentaje de residuos de evaporación del aceite esencial de muña alcanzaron a  $38,7 \pm 1,2\%$  con un coeficiente de variación de 3,2%, dato que es menor en porcentaje de sustancias poco volátiles en comparación con los demás resultado. Según Alba dejo (1999), los residuos de evaporación estarían constituidos por ceras, parafinas, cumarinas, furocumarinas de carácter y componentes de elevado peso molecular. Asimismo, parece estar relacionado con el tiempo que está el aceite en contacto con la corteza, si se trata de frutos y con el tipo de proceso de extracción que produce un mayor o menor esfuerzo mecánico sobre la corteza del fruto.

Los valores anormalmente elevados de algunos parámetros físicos como el índice de refracción, poder rotatorio, etc., indican en ocasiones posibles contaminaciones con aceites de diverso origen; por el contrario valores muy bajos determinarían una mayor presencia de terpenos.

### c) Resultados del punto de congelación, según NB 75009

Las temperaturas observadas como puntos de congelación en el dispositivo armado, para los aceites esenciales son los siguientes:

**Cuadro 22. Rango de temperaturas para cada aceite esencial**

Aceite	Región	Mínimo (°C)	Máximo (°C)
Khoa	Ambana	-12,2	-16,7
Khoa	Sorata	-12,4	-17,6
Ajenjo	Ambana	-15,6	-19,3
Muña	Ambana	-11,8	-15,7

En el cuadro 22, las temperaturas de congelación del aceite esencial de Khoa fue de -12,2 hasta -16,7°C (Ambana) y de -12,4 a -17,6 (Sorata), numéricamente similares. El aceite esencial de ajeno ha mostrado un punto de congelación de 15,6 hasta 19,3 grados Celsius bajo cero y el aceite esencial de muña fue de -11,8 hasta -15,7 °C. Estos datos muestra que el último es el que congela primero y el último en congelar es el aceite de ajeno. Este indicador físico, en las esencias varía mucho más que el punto de fusión. El punto de congelación depende de su cantidad en estearopteno.

En todos los casos, los puntos de congelación y de fusión no son idénticos, por ejemplo, la esencia de rosas se concretiza por debajo de los 0° y no se funde luego si no llega a los 28-32°; la esencia de anís se concretiza a los 10° y se funde a los 17°, etc.

#### **d) Resultados de la miscibilidad en etanol a 20°C, según NB 75004**

##### **Cuadro 23. Rango de volúmenes para cada aceite esencial**

Aceite esencial	Procedencia	Alcohol etílico (%)	Mínimo	Máximo
Khoa	Ambana	65	4,0 volumen	4,4 volumen
Khoa	Sorata	65	3,9 volumen	4,4 volumen
Ajeno	Ambana	90	11 volumen	14 volumen
Muña	Ambana	75	1,5 volumen	1,6 volumen

\* Si no es posible conseguir una solución limpia, pero si una solución opalescente en el momento de solubilizarse a 20 volúmenes, comparar con la solución patrón.

Los resultados de miscibilidad, cuadro 23, muestran que el aceite esencial de khoa proveniente tanto de Ambana como Sorata necesita menor cantidad de etanol (65%) para lograr la miscibilidad entre 3,9 a 4,4 volúmenes. En cambio, el aceite esencial de ajeno necesita etanol del 90% para lograr una miscibilidad de 11 a 14 volúmenes. El dato intermedio lo muestra el aceite de cruz muña que tiene miscibilidad en etanol del 75% de 1,5 a 1,6 volúmenes. En este sentido, un aceite esencial es miscible cuando la mezcla de un volumen de aceite esencial con volúmenes hidroetanólicas está límpida y se enturbia después de la adición gradual de dicho etanol y permanece turbia cuando

se prosigue con la adición hasta un total de 20 volúmenes (NB 75004, 2005). Este tipo de mezclas, según la especie vegetal de origen pueden estar constituidos por diferentes porcentajes de componentes cuyos grupos funcionales correspondan a los alcoholes, aldehídos (mas solubles en agua) y de esterés, éteres, hidrocarburos (solubles en compuestos apolares), los que determinaran su grado de miscibilidad en mezclas hidroetanólicas (Arraiza, 2009).

#### e) Índice de Refracción, según NB 75007

**Cuadro 24. Aceite de Khoa, proveniente de Ambana**

Dato #	$n_D^{t'}$	$t'$ (°C)	$n_D^t$
1	1,4865	20,0	1,4865
2	1,4855	20,0	1,4855
3	1,4855	20,0	1,4855
4	1,4855	20,0	1,4855
5	1,4857	20,0	1,4857
6	1,4856	20,0	1,4856

**Cuadro 25. Aceite de Khoa, proveniente de Sorata**

Dato #	$n_D^{t'}$	$t'$ (°C)	$n_D^t$
1	1,4854	18,9	1,4850
2	1,4852	18,9	1,4848
3	1,4853	18,9	1,4849
4	1,4854	18,9	1,4850
5	1,4856	18,9	1,4852
6	1,4855	18,9	1,4851

**Cuadro 26. Aceite de Ajenjo, proveniente de Ambana**

Dato #	$n'_D$	$t'$ (°C)	$n^t_D$
1	1,4755	18,9	1,4751
2	1,4754	18,9	1,4750
3	1,4755	18,9	1,4751
4	1,4750	18,9	1,4746
5	1,4745	18,9	1,4741
6	1,4743	18,9	1,4739

**Cuadro 27. Aceite de Muña, proveniente de Ambana**

Dato #	$n'_D$	$t'$ (°C)	$n^t_D$
1	1,4721	18,9	1,4717
2	1,4721	18,9	1,4717
3	1,4710	18,9	1,4706
4	1,4711	18,9	1,4707
5	1,4711	18,9	1,4707
6	1,4710	18,9	1,4706

Los cuadros 24, 25, 26 y 27, reflejan los datos del índice de refracción de los aceites esenciales producto de 6 repeticiones (20°C) de 1,4706 (menor desvió de la luz refractada) hasta 1,4865 (mayor desviación de la luz refractada).

**Cuadro 28. Promedio del índice de refracción de los diferentes aceites esenciales**

Aceite esencial	Procedencia	Promedio	$\sigma$	$\sigma/\sqrt{n}$	$E_p$ (%)	Expresión del resultado
Khoa	Ambana	1,4857	0,0004	$1,6 \times 10^{-4}$	0,011	$1,4857 \pm 0,0002$
Khoa	Sorata	1,4850	$1,41 \times 10^{-4}$	$5,8 \times 10^{-5}$	0,004	$1,4850 \pm 0,0001$
Ajenjo	Ambana	1,4746	0,0005	0,0002	0,014	$1,4746 \pm 0,0002$
Muña	Ambana	1,4710	0,0005	0,0002	0,014	$1,4710 \pm 0,0002$

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absoluto X100/valor medio, n =Número de datos

Según Sinclair (1984), el índice de refracción disminuye al aumentar la temperatura y es directamente proporcional a la densidad, los valores pueden presentar variaciones con el máximo y el mínimo de aproximadamente 0,0007 unidades no considerándose significantes

#### f) Poder Rotatorio, según NB 75008

**Cuadro 29. Aceite esencial de khoa, proveniente de Ambana**

Número de datos	1	2	3	Promedio
$\alpha$ (mili radianes)	+612,61	+614,01	+611,74	+612,79
$\alpha$ (grados de ángulo)	+35,10°	+35,18°	+35,05°	+35,11°

**Cuadro 30. Aceite esencial de khoa, proveniente de Sorata**

Número de datos	1	2	3	Promedio
$\alpha$ (mili radianes)	+613,48	+619,24	+610,52	+614,41
$\alpha$ (grados de ángulo)	+35,15°	+35,48°	+34,98°	+35,20°

**Cuadro 31. Aceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana**

Número de datos	1	2	3	Promedio
$\alpha$ (mili radianes)	-17,45	-15,71	-15,71	-16,29
$\alpha$ (grados de ángulo)	-1,00°	-090°	-0,90°	-0,93°

**Cuadro 32. Aceite esencial de muña, proveniente de Ambana**

Numero de datos	1	2	3	Promedio
$\alpha$ (mili radianes)	-38,40	-38,40	-39,27	-38,69
$\alpha$ (grados de ángulo)	-2,20°	-2,20°	-2,25°	-2,20°

Las variaciones encontradas en los valores de rotación óptica son debidas entre otras causas a los diferentes sistemas de extracción. Así los autores arriba citados determinan diferencias entre los valores de rotación óptica obtenidos con muestras de

igual origen pero diferente método de extracción, (Albadejo, 1999).

### Cuadro 33. Resultados del poder rotatorio

Aceite esencial	Procedencia	Promedio (mrad)	$\sigma$ (mrad)	$\sigma/\sqrt{n}$ (mrad)	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (mrad)
Khoa	Ambana	+612, 79	1,1453	0,6612	0, 11	+612,79±0,66
Khoa	Sorata	+614, 41	4,4343	2,5601	0,42	+614,41±2,56
Ajenjo	Ambana	-16, 29	1,0046	0,5800	3, 56	-16,29±0,58
Muña	Ambana	-38, 69	0,5023	0,2900	0,75	-38,69±0,29

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absolutoX100/valor medio, n =Número de datos

### g) Valor CD por espectrofotometría ultravioleta, según NB 75015

#### Cuadro 34. Resultados con el Alcohol Etílico

Aceite esencial	Procedencia	Masa m (g)	Segmento CD (nm)		Valor CD (nm)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Khoa	Ambana	0,0493	220	252	4462,47	5111,56
Khoa	Sorata	0,0492	220	254	4471,54	5162,60
Ajenjo	Ambana	0,0463	339	365	7321,81	7883,37
Muña	Ambana	0,0474	220	253	4641,35	5337,55

#### Cuadro 35. Resultados con el metanol

Aceite esencial	Procedencia	Masa m (g)	Segmento CD (nm)		Valor CD (nm)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Khoa	Ambana	0,0493	255	264	5172,41	5354,97
Khoa	Sorata	0,0492	236	256	4796,75	5203,25
Ajenjo	Ambana	0,0463	326	363	4881,21	5680,34
Muña	Ambana	0,0474	236	257	4978,90	5421,94

#### Cuadro 36. Resultados con el éter Etílico

Aceite esencial	Procedencia	Masa m (g)	Segmento CD (nm)		Valor CD (nm)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Khoa	Ambana	0,0493	242	247	4908,72	5010,14
Khoa	Sorata	0,0492	242	246	4918,70	5000,00
Ajenjo	Ambana	0,0463	344	382	5269,98	6090,71
Muña	Ambana	0,0474	227	232	4789,03	4894,51

**Cuadro 37. Resultados con el normal hexano**

Aceite esencial	Procedencia	Masa m (g)	Segmento CD (nm)		Valor CD (nm)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Khoa	Ambana	0,0493	241	244	4888,44	4949,29
Khoa	Sorata	0,0492	240	244	4878,05	4959,35
Ajenjo	Ambana	0,0463	345	282	5291,58	6090,71
Muña	Ambana	0,0474	239	244	5042,19	5147,68

**5.1.4.3- Propiedades químicas de los aceites esenciales****A) Índice de Acidez, según NB 75006****Cuadro 38. Índice de acidez del aceite de khoa, proveniente de Sorata**

#	Aceite Esencial (g)	KOH utilizado (ml)	Índice de Acidez
1	2,0008	0,50	1,4330
2	2,0036	0,55	1,5741
3	2,0105	0,55	1,5687

**Cuadro 39. Índice de acidez del aceite de khoa, proveniente de Ambana**

#	Aceite Esencial (g)	KOH utilizado (ml)	Índice de Acidez
1	2,0084	0,55	1,5704
2	2,0041	0,55	1,5737
3	2,0112	0,60	1,7108

**Cuadro 40. Índice de acidez del aceite de Ajenjo, proveniente de Ambana**

#	Aceite Esencial (g)	KOH utilizado (ml)	Índice de Acidez
1	2,0051	0,90	2,5739
2	2,0066	0,85	2,4291
3	2,0042	0,85	2,4320

**Cuadro 41. Índice de acidez del aceite de Muña, proveniente de Ambana**

#	Aceite Esencial (g)	KOH utilizado (ml)	Índice de Acidez
1	2,0107	0,40	1,1408
2	2,0041	0,35	1,0015
3	2,0104	0,40	1,1410

En los cuadros, 38, 39,40 y 41 se muestran los datos que resultaron de 3 repeticiones en la medida del Índice de acidez. Entre ellos el índice más bajo corresponde al aceite de muña y el índice más elevado al aceite de khoa proveniente de Ambana. Estos valores corresponden al número de miligramos de KOH necesario para neutralizar los ácidos libres contenidos en un gramo de aceite esencial (NB 75006, 2005).

#### Cuadro 42. Resultados del índice de Acidez

Aceite esencial	Procedencia	Promedio	$\sigma$	$\sigma/\sqrt{n}$	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (%)
Khoa	Ambana	1,6183	0,0801	0,0462	2,9	1,62 $\pm$ 0,04
Khoa	Sorata	1,5253	0,0800	0,0462	3,0	1,52 $\pm$ 0,04
Ajenjo	Ambana	2,4783	0,0828	0,0478	1,9	2,48 $\pm$ 0,05
Muña	Ambana	1,0944	0,0805	0,0465	4,2	1,09 $\pm$ 0,05

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absolutoX100/valor medio, n =Número de datos

El índice de acidez de los aceites esenciales, cuadro 42, en promedio estuvo entre 1,09 $\pm$ 0,05% para el aceite esencial de muña, el índice de acidez del aceite esencial de khoa de 1,52 a 1,62, hasta 2,48 $\pm$ 0,05% en el aceite de Ajenjo proveniente de Ambana. Los coeficientes de variación estuvieron entre 1,9 a 4,2%.

La acidez de los aceites esenciales está influenciada por la presencia de ácidos orgánicos de cadena corta que pueden volatilizarse fácilmente y ser solubles en la mezcla que es el aceite esencial. Entonces su cantidad influirá en la propiedad organoléptica del sabor, pudiendo clasificarse en el grupo de aceites esenciales agrios o amargos.

#### B) Índice de Ester, según NB 75013

##### Cuadro 43. Índice de éster de aceite esencial de khoa, proveniente de Sorata

#	m (g)	$V_o$ (ml)	$V_1$ (ml)	IA	IE
1	2,0011	5,20	4,50	1,5	8,3
2	2,0003	5,20	4,50	1,5	8,3
3	2,0005	5,20	4,55	1,5	7,6

**Cuadro 44. Índice de éster de aceite esencial de khoa, proveniente de Ambana**

#	m (g)	V <sub>o</sub> (ml)	V <sub>1</sub> (ml)	IA	IE
1	2,0116	5,20	4,50	1,6	8,1
2	2,0017	5,20	4,50	1,6	8,2
3	2,0033	5,20	4,50	1,6	8,9

**Cuadro 45. Índice de éster de aceite esencial de Ajenjo, proveniente de Ambana**

#	m (g)	V <sub>o</sub> (ml)	V <sub>1</sub> (ml)	IA	IE
1	2,0004	5,20	3,65	2,5	19,2
2	2,0005	5,20	3,65	2,5	19,2
3	2,0010	5,20	3,70	2,5	18,5

**Cuadro 46. Índice de éster de aceite esencial de Muña, proveniente de Ambana**

#	m (g)	V <sub>o</sub> (ml)	V <sub>1</sub> (ml)	IA	IE
1	2,0014	5,20	4,15	1,1	13,6
2	2,0009	5,20	4,20	1,1	12,9
3	2,0017	5,20	4,20	1,1	12,9

En los cuadros, 43, 44, 45 y 46 se muestran los datos que resultaron de 3 repeticiones en la medida del Índice de éster. Grupo funcional cuya estructura es más hidrofóbico que los alcoholes o ácidos de los que derivan. Al no actuar como donador de enlace de hidrógeno ocasiona el que no pueda formar enlaces de hidrógeno entre moléculas de ésteres, lo que los hace más volátiles que un ácido o alcohol de similar peso molecular. Es así que estas moléculas pudieron ser extraídas en la mezcla. Los resultados muestran que el índice más bajo corresponde al aceite de Khoa y el índice más elevado al aceite de Ajenjo.

**Cuadro 47. Promedio del índice de Ester de aceite esencial**

Aceite esencial	Procedencia	Promedio	$\sigma$	$\sigma/\sqrt{n}$	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (%)
Khoa	Ambana	8,4055	0,4143	0,2392	2,84	8,4±0,9
Khoa	Sorata	8,0587	0,3984	0,2300	2,85	8,1±0,2
Ajenjo	Ambana	19,0199	0,4081	0,2356	1,24	19,0±0,2
Muña	Ambana	13,1548	0,4042	0,2333	1,77	13,2±0,2

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absolutoX100/valor medio, n =Número de datos

El Índice de éster (cuadro 47), de los aceites esenciales en promedio fue de 8,1±0,2 a 8,4±0,9% para el aceite de khoa, con un coeficiente de variación de 2,8%. El aceite de Ajenjo proveniente de Ambana tuvo un porcentaje de índice éster de 19±0,2 (CV 1,24%) y el aceites de Cruz muña un índice éster de 13,2±0,2 (CV 1,8%). Estos valores corresponden al número de miligramos de hidróxido de potasio necesario para neutralizar los ácidos producidos por la hidrólisis de esteres contenidos en un gramo de aceite esencial (NB 75013,2005).

### C) Contenido en fenoles, según NB 75012

**Cuadro 48. Porcentaje de fenoles en el aceite de Khoa, proveniente de Ambana**

Dato #	Aceite utilizado (ml)		Fracción de aceite (ml)	Contenido en fenoles (%)
	Inicial	Final		
1	7,50	7,30	9,73	2,70
2	7,55	7,35	9,74	2,60
3	7,50	7,30	9,73	2,70

**Cuadro 49. Porcentaje de fenoles en el aceite de Khoa, proveniente de Sorata**

Dato #	Aceite utilizado (ml)		Fracción de aceite (ml)	Contenido en fenoles (%)
	Inicial	Final		
1	4,00	3,90	9,75	2,50
2	4,00	3,90	9,75	2,50
3	3,80	3,70	9,74	2,60

**Cuadro 50. Porcentaje de fenoles en el aceite de Ajenjo, proveniente de Ambana**

Dato #	Aceite utilizado (ml)		Fracción de aceite (ml)	Contenido en fenoles (%)
	Inicial	Final		
1	2,00	1,90	9,50	5,00
2	1,80	1,70	9,44	5,60
3	2,00	1,90	9,50	5,00

**Cuadro 51. Porcentaje de fenoles en el aceite de Muña, proveniente de Ambana**

Dato #	Aceite utilizado (ml)		Fracción de aceite (ml)	Contenido en fenoles (%)
	Inicial	Final		
1	7,50	7,05	9,40	6,00
2	7,50	7,00	9,33	6,70
3	7,50	7,00	9,33	6,70

En los cuadros, 48, 49, 50 y 51 se muestran los datos que resultaron de 3 repeticiones en la medida del Contenido en fenoles. Entre ellos el contenido en fenoles más bajo corresponde a los aceites de Khoa con porcentajes similares y el contenido en fenoles más elevada al aceite de *Minthostachys andina* proveniente de Ambana.

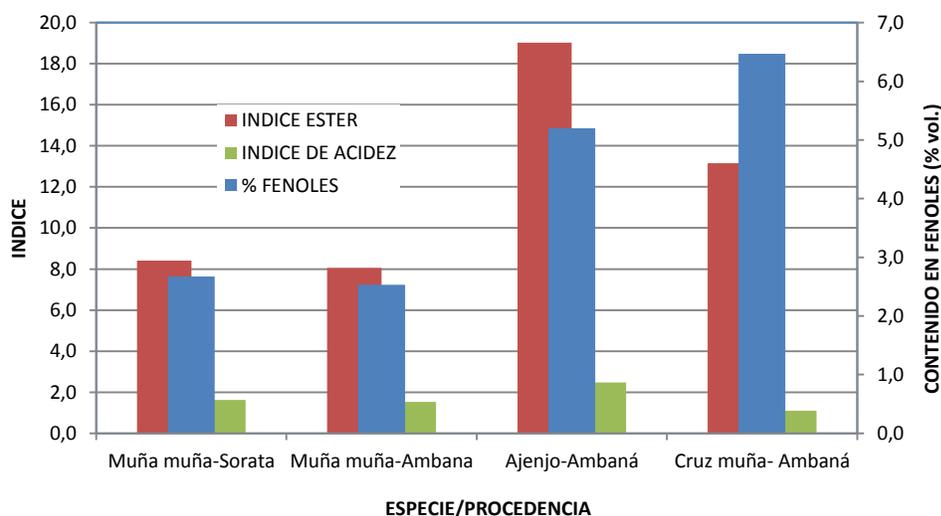
**Cuadro 52. Promedio del contenido de fenoles (%) en los aceites esenciales**

Aceite esencial	Procedencia	Promedio (%)	$\sigma$ (%)	$\sigma/\sqrt{n}$ (%)	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (%)
Khoa	Ambana	2,67	0,0577	0,0333	1, 25	2,67±0,03
Khoa	Sorata	2,53	0,0577	0,0333	1,32	2,53±0,03
Ajenjo	Ambana	5,20	0,3464	0,2000	3, 85	5,20±0,20
Muña	Ambana	6,47	0,4041	0, 2333	3,61	6,47±0,23

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absolutoX100/valor medio, n =Número de datos

El Contenido en fenoles (cuadro 52) de los aceites esenciales en promedio estuvo entre 2,53±0,03 % para el aceite esencial de khoa proveniente de Sorata, hasta 6,47±0,23 % en el aceite de muña proveniente de Ambana. Estos valores nos indican el porcentaje en volumen de fenoles en los aceites esenciales y el principio del método es la transformación de los fenoles contenidos en un volumen conocido de aceite esencial,

en fenolatos alcalinos. Medición del volumen de la fracción de aceite esencial no transformado (NB 75012, 2005).



**Figura 12.** Valor de las propiedades químicas de los aceites esenciales extraídos a escala laboratorio: Índice de acidez, éster y contenido en fenoles (% en volumen).

Los aceites esenciales se caracterizan por ser una mezcla compleja de varios compuestos (terpénicos y fenilpropánicos) de aromas volátiles alcoholes, aldehídos, cetonas, ésteres, éteres y fenoles (Carhuapoma et al 2009). Asimismo, según el informe de proyecto (Vino, 2012), del análisis fotoquímico realizado a las especies estudiadas por la Dra. Carola Loza (2011) se han identificado la presencia de flavonoides, fenoles, lo que explica la presencia del contenido de fenoles, el valor del índice de esteres y ácidos, especialmente en el aceites de ajeno. En la figura 12, se aprecia que los contenidos en esteres, acidez y fenoles van disminuyendo su valor (khoa, ajeno), sin embargo, el aceite esencial de muña posee mayor contenido en fenoles que las demás especies y posee comparativamente un perfil distinto al aceite de khoa que pertenece a la familia Labiatae.

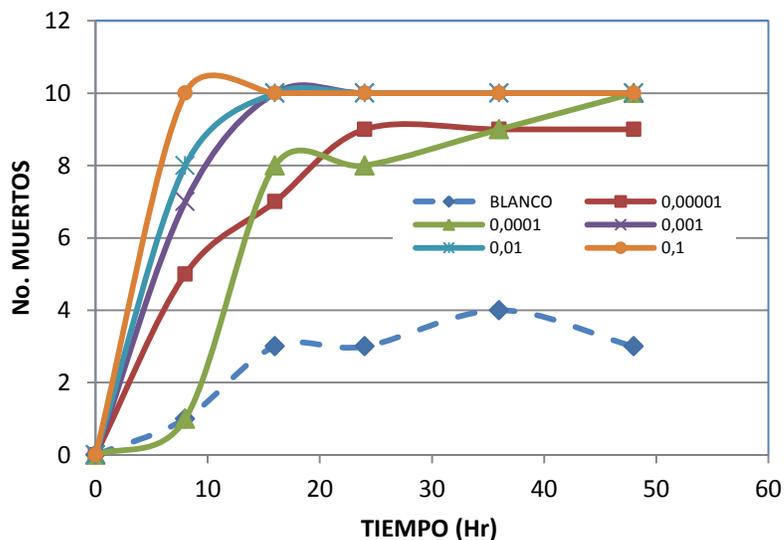
## 5.2.- Efecto biocida del aceite de khoa, sobre afidos en laboratorio (*in vitro*)

Para el cálculo de la letalidad a la aplicación de la dosificación se ha utilizado el procedimiento señalado por Vincent (2008). Se han transformado los datos de

concentración en su logaritmo decimal y el resultado de número de muertos por concentración y por tiempo de evaluación en unidades Probit (*Probabilityunit*), ya que la Ley de Weber y Fechner, señala: “el cambio en magnitud o intensidad de una respuesta biológica es proporcional no al cambio aritmético en el estímulo sino a su logaritmo”, Vincent (2008), Jiménez (2005) y Silva (2004), figura 13.

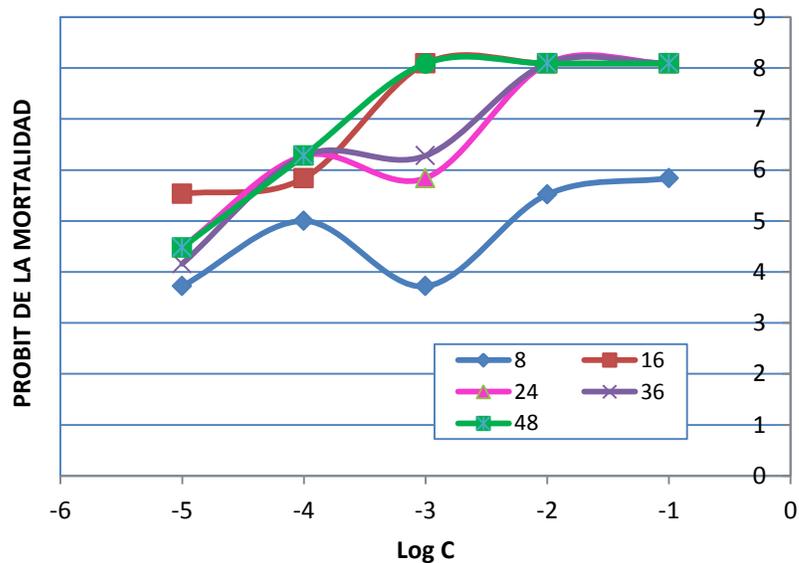


**Figura 13.** En a), se observa la serie de Cajas Petri con las diferentes concentraciones de aceites esencial. En b), se muestra la forma en la que se evaluaba y controlaba pulgones vivos y muertos.



**Figura 14.** Número pulgones muertos por tiempo de evaluación: 0, 8, 16, 24, 36, 48 horas en laboratorio.

La determinación de la actividad biocida contra los pulgones del aceite de Khoa de Ambaná, muestra que el numero de muertos en el control (sin tratamiento) alcanza de cero muertos en la hora cero hasta un máximo de 4 pulgones muertos de 10 a las 36 horas ( $n=5$ ). Las diluciones menores ( $1/10$ ,  $1/100$  y  $1/1000$ ) aplicadas de aceite esencial logran en menos tiempo la total mortalidad de los áfidos, entre 8 a 16 horas. En cambio, las mayores diluciones ( $1/10000$  y  $1/100000$ ) provocan la mortalidad a un promedio de 8 de cada 10 pulgones, figura 14.



**Figura 15.** Probit de mortalidad de pulgones dosificados con aceite de Khoa en laboratorio por el logaritmo de la concentración de  $1/10$ ,  $1/100$ ,  $1/1000$ ,  $1/10000$  y  $1/100000$  en agua.

El Probit de mortalidad, figura 15 y 13 por el logaritmo de la concentración, según los tiempos de evaluación ha resultado en las siguientes constantes ( $y=ax+b$ ) en:

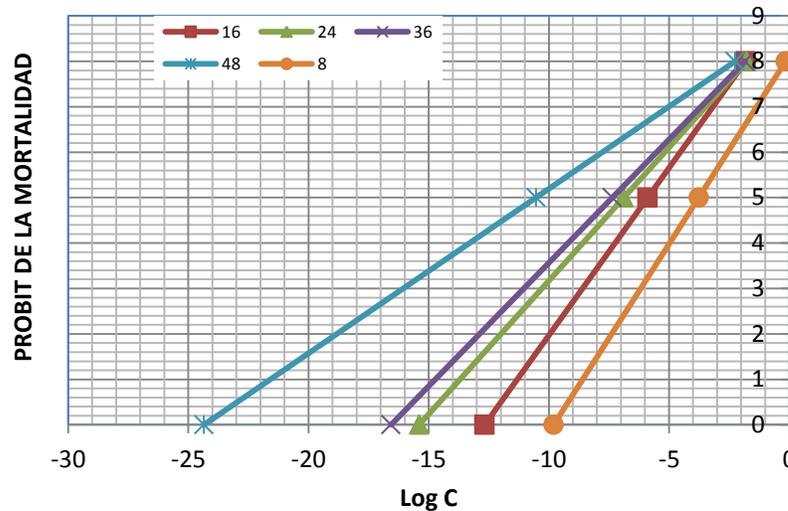
A las 8 horas de evaluación:  $a = 0,083$ ,  $b = 8,124$  y  $r = 0,824$

A las 16 horas de evaluación:  $a = 0,737$ ,  $b = 9,339$  y  $r = 0,882$

A las 24 horas de evaluación:  $a = 0,587$ ,  $b = 9,03$  y  $r = 0,83$

A las 36 horas de evaluación:  $a = 0,543$ ,  $b = 8,99$  y  $r = 0,866$

A las 48 horas de evaluación:  $a = 0,362$ ,  $b = 8,81$  y  $r = 0,71$



**Figura 16.** Correlación lineal ( $y=ax+b$ ), de Probit de la mortalidad de afidos expuestos a diferentes mezclas (Log concentración) según tiempo (8,16,24,36,48 horas) de evaluación de aceite esencial de Khoa de Ambaná en laboratorio.

En la figura 16, se observa que la CL 50% es de 1/5807 (1mL de aceite esencial diluido en 5,8 litros aproximadamente) de aceite esencial para eliminar el 50% de pulgones hasta las 8 horas. A las 16 horas, el 50% de los pulgones estará muerto con una dilución de 1/771010 (1 mL de aceite esencial, diluido en 771 L de diluyente). A las 24 horas, el 50 % de los pulgones estuvo muerto con una dilución de 1/7575757 (1 ml de AE en 7575 L. A las 36 horas, el 50 % de los pulgones estuvo muerto con una dilución de 1/22935779 (1 ml de AE en 22936 L. A las 48 horas, el 50 % de los pulgones estuvo muerto con una dilución de 1/3164556962 (1 ml de AE en 31645569 L. Sin embargo, como los pulgones, de adultos o pasando por alguna de las etapas de su ciclo hace partenogénesis (hembras que liberan pulgones juveniles); entonces, si se dejan 10 pulgones y al contarlos en el experimento aparecerán 11 o 12 pulgones. Si además desarrollan alas pueden volar y hasta migrar otro sitio menos peligroso y que le permita multiplicarse. En este sentido, es ideal utilizar una dilución que mate en el menor tiempo a los pulgones, por ejemplo: 1ml de AE/ 6 litros, en el caso de la escala laboratorio.

### 5.3.- Resultados de la extracción de esencia vegetal a escala piloto

#### 5.3.1.-Extracción del aceite de Khoa, proveniente de Ambana a escala piloto

Instalado el equipo de extracción de aceites esenciales, según descripción. Las condiciones de operación fueron a 1 bar de presión y 110°C en la cámara de extracción. Asimismo, las primeras cinco extracciones tuvo una pérdida de aceite por vaporización debido a las pruebas de regulación del flujo de vapor y la corriente de agua fría.

**Cuadro 53. Datos experimentales de la extracción de aceites esencial a escala piloto**

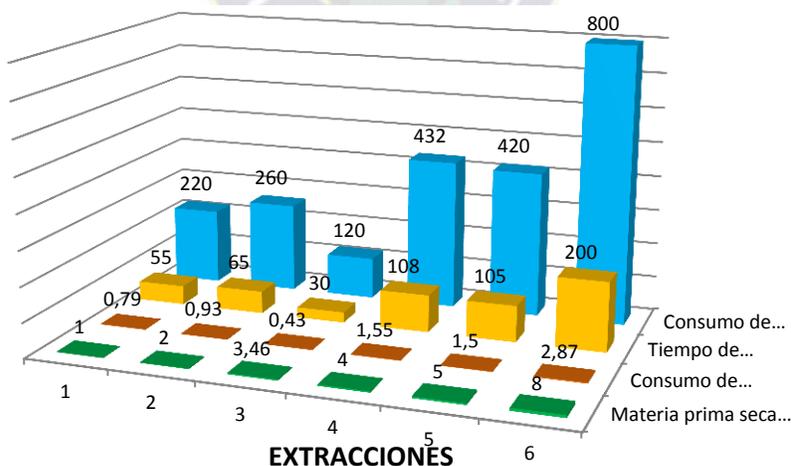
Numero de Extracciones	1	2	3	4	5	6	7	8	Unidades
Materia Vegetal Seco	3,4600	4	1	2	4	5	4	8	Kg
Tiempo de Extracción	30	45	55	65	75	105	108	200	min
Aceite Esencial Practico	55	58	16	34	60	125	102	177	ml
Agua Floral Colectado	2550	2780	1390	2210	4500	4600	3330	5950	ml
Residuo Vegetal Húmedo	-	-	-	-	-	5,6173	4,3713	8,8237	Kg
Residuo Vegetal Seco	3,3726	3,9006	0,9768	1,9547	3,9000	4,8777	3,9010	7,8245	Kg
Aceite Esencial Teórico	91,06	103,56	24,17	47,20	104,19	127,42	103,15	182,85	ml
Rendimiento de Aceite (P/P)	1,52	1,39	1,54	1,63	1,44	2,40	2,45	2,12	%
Rendimiento de Operación	60,40	56,01	66,20	72,03	57,59	98,10	98,88	96,80	%
Consumo de Combustible	0,43	0,64	0,79	0,93	1,08	1,50	1,55	2,87	Kg
Consumo de refrigerante	120	180	220	260	300	420	432	800	L

En las restantes pruebas, se cuentan con datos que son producto de equipo estabilizado para el trabajo.

**Cuadro 54. Consumo de combustible (G.L.P.) en la caldera**

Replicas	Masa de GLP (Kg)	Tiempo de uso (min)	Flujo másico (Kg/h)
1	3	210	0,86
2	4	250	0,84
3	2,5	190	0,79
4	3,5	213	0,98
5	5,5	400	0,82

En los cuadros 53, 54 y figura 17, se aprecian los datos producto de cinco repeticiones para el control de flujo másico de combustible (GLP), cuyo valor mínimo fue de 0,70 kg/hr y máximo de 0,98hg/hr. El promedio del total de las evaluaciones fue  $0,858 \pm 0,073$  kg/hr con un coeficiente de variación del 8,5%. Si el equipo trabajara ocho horas al día, se necesitarían 6,9 kg de gas. En este sentido, para un día de trabajo se necesita de al menos una garrafa de 10 kg que se comercializan a nivel doméstico, equivalente a 22,5 bs.

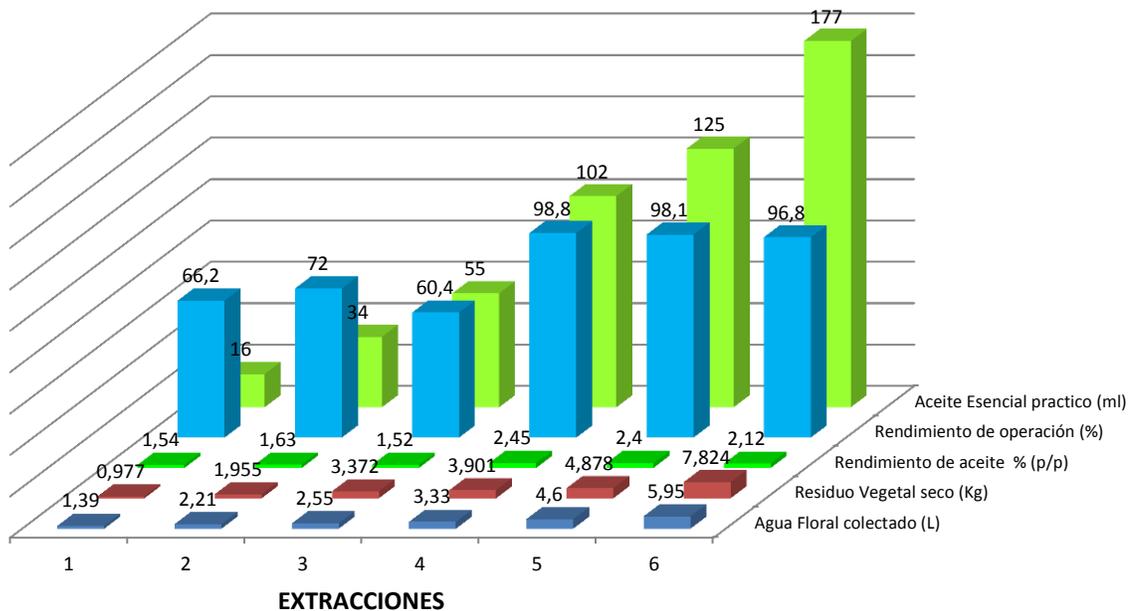


**Figura 17.** Condiciones de operación consumibles establecidos para la extracción de aceite esencial de khoa a escala piloto desde 1 a 8 Kg (hojas) de materia prima a una presión de 1 bar y temperatura en la cámara de extracción de 110°C.

**Cuadro 55. Consumo de refrigerante (agua) en el condensador**

Numero de datos	1	2	3	4	5
Flujo másico (Kg/h)	239	240	240	238	243

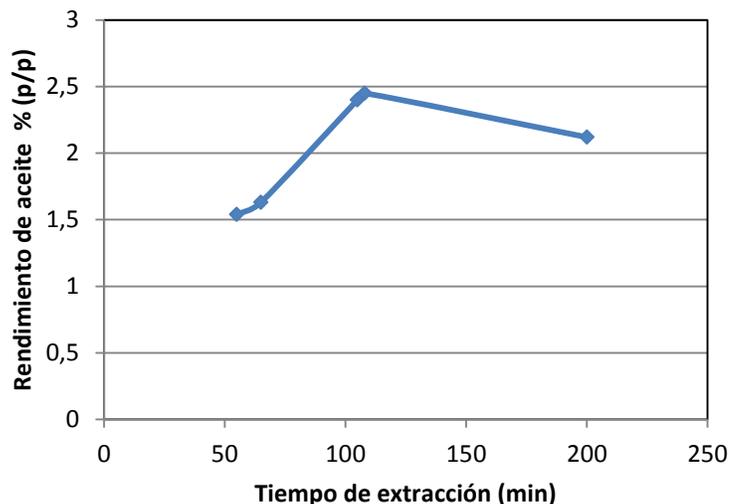
Según los cuadros 53, 55, y figura18, del resultado de cinco réplicas de evaluación de consumo de refrigerante se ha obtenido un promedio de  $240 \pm 1,9$  kg/h de agua, con un coeficiente de variación de 0,8%. El agua necesaria para un día de trabajo será aproximadamente  $2 \text{ m}^3$ , que equivale a 2000 L.



**Figura 18.** Datos de operación en rendimiento y residuos resultantes después de la extracción de material prima (hojas de Khoa) de 1 a 8Kg en el extractor a escala piloto (capacidad 100L).

En las primeras cinco extracciones, se tiene perdidas de aceite por vaporización, debido a la regulación del flujo de vapor y la corriente de agua fría, figura 19.

**5.3.2.-Curva de extracción del aceite de Khoa (%) con relación al tiempo (min)**



**Figura 19.** Rendimiento del aceite de Khoa (%), a diferentes cantidades de vegetal.

La extracción de aceite esencial, termina cuando el vapor condensado (agua floral) ya no contiene partículas aceitosas, la cual es controlada cada momento, tomando muestras de vapor condensado, en un vidrio de reloj.

**Cuadro 56. Flujo de salida del vapor (agua con aceite) condensado**

Numero de datos	1	2	3	4	5
Flujo másico (Kg/h)	1,8	1,8	1,7	1,8	1,9

Los resultados de flujo de salida de vapor del condensado fueron en promedio (n=5) 1,8+0,1 kg/h, con un coeficiente de variación de 3,9%, cuadro 56.

**Cuadro 57. Temperaturas del proceso**

Dato #	Refrigerante (°C)		Condensado (°C)
	Entrada	Salida	
1	10,1	14,4	18,0
2	10,0	14,8	17,5
3	10,0	14,3	17,6

La temperatura del proceso ( $^{\circ}\text{C}$ ) se ha establecido en un promedio de  $(n=3) 10+0,1^{\circ}\text{C}$  de ingreso al refrigerante y de  $14,5+0,3^{\circ}\text{C}$  de salida del refrigerante. La temperatura del condensado en  $17,7+0,3^{\circ}\text{C}$ . El coeficiente de variación fue de 0,5 a 1,8%.

#### **Cuadro 58. Densidad absoluta del aceite de Khoa, obtenido a escala piloto**

Dato #	Picnómetro de cinco mililitros		Densidad (g/ml)
	vacío (g)	Con aceite (g)	
1	10,0405	14,8663	0,9652
2	9,8003	14,5509	0,9501
3	9,3930	14,2130	0,9640

La densidad del producto fue de  $0,9598\pm 0,0084$ , con un coeficiente de variación de 1%

### **5.3.3.- Caracterización fisicoquímica del aceite de Khoa, a escala piloto**

#### **5.3.3.1.- Característica organoléptica del aceite de Khoa**

##### **Cuadro 59. Resultados de la caracterización organoléptica**

Aceite esencial	Procedencia	Aspecto	Olor	Sabor
Khoa (piloto)	Ambana	Líquido oleoso y transparente.	Agradable y mentolado.	Muy picante

En el cuadro 59, se aprecian los resultados de la evaluación organoléptica, que es similar a los datos obtenidos a escala de laboratorio, donde las condiciones han sido más controladas.

#### **5.3.3.1.1.- Resultados de la determinación del Color, según NB 75020**

##### **Cuadro 60. Rango de colores del aceite esencial de khoa, según las soluciones patrón**

Aceite esencial	Región	Mínimo	Máximo
Khoa(escala piloto)	Ambana	Solución 9	Solución 10

Como se aprecia en los datos del cuadro 60, el color se ha calificado entre la escala 9 a 10 (Sol. Dicromato de potasio), lo que se califica como color amarillo.

### 5.3.3.2.- Propiedades físicas del aceite de Khoa

#### a) Densidad Relativa a 20°C, según NB 75005

**Cuadro 61. Aceite de Khoa, proveniente de Ambana a escala piloto**

Dato #	Picnómetro de cinco mililitros			Densidad Relativa
	Vacío (g)	Agua (g)	Aceite (g)	
1	10,0405	15,0930	14,8663	0,9551
2	9,8003	14,7764	14,5509	0,9547
3	9,3930	14,4558	14,2130	0,9520

La densidad del producto separado (aceite en bruto), fue en promedio  $0,9539 \pm 0,0017$ , con un coeficiente de variación de 0,1%, del aceite esencial que resultó de hojas secas que se separaron de material vegetal colectado de abril a junio. El valor es diferente al obtenido a escala laboratorio, densidad 0,9561 de material vegetal colectado en octubre a noviembre de Ambana. La razón se atribuye a la época de colección y a las condiciones de trabajo.

#### b) Residuos de Evaporación a 55°C, según NB 75010

**Cuadro 62. Aceite de khoa, proveniente de Ambana, a escala piloto**

Dato #	Vidrio de reloj vacío (g)	Vidrio de reloj con aceite		Residuo de Evaporación (%)
		Antes (g)	Después (g)	
1	35,0713	39,8143	38,1567	65,0516
2	35,7734	42,1716	40,3833	59,3402
3	37,7674	40,5097	38,8028	64,0069

**Cuadro 63. Resultados del residuo de evaporación a 55°C**

Aceite esencial	Procedencia	Promedio (%)	$\sigma$ (%)	$\sigma/\sqrt{n}$ (%)	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (%)
Khoa(piloto)	Ambana	62,7996	3,0411	1,7558	2,80	$62,7996 \pm 1,7558$

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absolutoX100/valor medio, n =Número de datos

### c) Resultados del punto de congelación, según NB 75009

Las temperaturas observadas en el dispositivo armado, para los aceites esenciales son los siguientes:

**Cuadro 64. Rango de temperaturas para cada aceite esencial**

Aceite	Región	Mínimo (°C)	Máximo (°C)
Khoa (escala piloto)	Ambana	-17,0	-19,2

### d) Resultados de la miscibilidad en etanol a 20° C, según NB 75004

**Cuadro 65. Rango de volúmenes para cada aceite esencial**

Aceite esencial	Procedencia	Alcohol etílico (%)	Mínimo	Máximo
Khoa (piloto)	Ambana	65	4,0 volumen	4,5 volumen

La miscibilidad hallada fue igual entre el aceite esencial obtenido a escala laboratorio y el de escala piloto.

### e) Índice de Refracción, según NB 75007

**Cuadro 66. Índice de refracción del aceite esencial de *Satureja boliviana*, proveniente de Ambana, a escala piloto**

Dato #	$n_D^{t'}$	$t'$ (°C)	$n_D^t$
1	1,4912	20,0	1,4912
2	1,4913	20,0	1,4913
3	1,4912	20,0	1,4912
4	1,4911	20,0	1,4911
5	1,4910	20,0	1,4910
6	1,4910	20,0	1,4910

El índice de refracción del aceite esencial de khoa fue en promedio (n=6) fue de  $1,4911 \pm 0,0001$ , comparado con el aceite esencial extraído a escala laboratorio (1,4857) es diferente

#### f) Poder Rotatorio, según NB 75008

**Cuadro 67. Aceite esencial de Khoa, proveniente de Ambana, a escala piloto**

Número de datos	1	2	3	Promedio
$\alpha$ (mili radianes)	+737,92	+743,51	+740,89	+740,77
$\alpha$ (grados de ángulo)	+42,28°	+42,60°	+42,45°	+42,44°

El resultado del aceite esencial de khoa, cuadro 67, fue de  $+740,77 \pm 1,61$  alpha (miliradianes) y alpha (grados de ángulo) de  $+42,44^\circ$ , valor que es mayor al obtenido inicialmente a escala piloto  $+612,79$  alpha (miliradianes) y  $+35,11^\circ$  alpha (grados de ángulo).

#### g) Valor CD por espectrofotometría ultravioleta, según NB 75015

**Cuadro 68. Resultados con el Alcohol Etílico**

Aceite esencial	Procedencia	Masa m (g)	Segmento CD (nm)		Valor CD (nm)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Khoa (piloto)	Ambana	0,0480	248	249	5166,67	5187,50

**Cuadro 69. Resultados con el metanol**

Aceite esencial	Procedencia	Masa m (g)	Segmento CD (nm)		Valor CD (nm)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Khoa (piloto)	Ambana	0,0480	257	333	5354,17	6937,50

**Cuadro 70. Resultados con el éter Etílico**

Aceite esencial	Procedencia	Masa m (g)	Segmento CD (nm)		Valor CD (nm)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Khoa (piloto)	Ambana	0,0480	228	242	4750,00	5041,67

**Cuadro 71. Resultados con el normal hexano**

Aceite esencial	Procedencia	Masa m (g)	Segmento CD (nm)		Valor CD (nm)	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Khoa (piloto)	Ambana	0,0480	243	300	5062,50	6250,00

**5.3.3.3.- Propiedades químicas del aceite de Khoa****A) Índice de Acidez, según NB 75006****Cuadro 72. Aceite de Khoa, proveniente de Ambana, a escala piloto**

#	Aceite Esencial (g)	KOH utilizado (ml)	Índice de Acidez
1	2,0134	2,10	5,9811
2	2,0107	2,00	5,7039
3	2,0125	2,15	6,1262

El índice de acidez fue en promedio (n=3) de  $5,94 \pm 0,12$  Cuadro72, con un coeficiente de variación de 2,9 %.

**B) Índice de Ester, según NB 75013****Cuadro 73. Índice Ester del aceite de Khoa, proveniente de Ambana, a escala piloto**

#	m (g)	V <sub>o</sub> (ml)	V <sub>1</sub> (ml)	IA	IE
1	2,0134	5,20	4,30	5,9371	6,6014
2	2,0107	5,20	4,20	5,9371	8,0133
3	2,0125	5,20	4,30	5,9371	6,6070

El índice de ésteres en promedio (n=3) fue de  $7,28 \pm 0,5\%$ , con un coef.devar.de 6,6%.

**C) Contenido en fenoles, según NB 75012****Cuadro 74. Contenido en fenoles del aceite de Khoa, de Ambana, a escala piloto**

Dato #	Aceite utilizado (ml)		Fracción de aceite (ml)	Contenido en fenoles (%)
	Inicial	Final		
1	7,00	6,50	9,28	7,70
2	4,00	3,70	9,25	7,50
3	4,00	3,75	9,38	6,20

**Cuadro 75. Resultados del contenido en fenoles del aceite de Khoa**

Aceite esencial	Procedencia	Promedio (%)	$\sigma$ (%)	$\sigma/\sqrt{n}$ (%)	$E_p$ (%)	Expresión del resultado (%)
Khoa(piloto)	Ambana	7.13	0,8144	0,4702	6,59	7,13 $\pm$ 0,47

$\sigma$  =Desviación estándar,  $\sigma/\sqrt{n}$ =Error absoluto,  $E_p$ =Error porcentual,  $E_p$ =Error absolutoX100/valor medio, n =Número de datos

**5.3.4.- Descripción del equipo de destilación a escala piloto****A) Seleccionador**

**Figura 20.** Foto de la selección de impurezas, en la Carrera de Química Industrial de la UMSA

La materia prima, si se trata de vegetales colectados de áreas extensas, puede venir acompañado de impurezas. El seleccionador (manual o tamiz) separa impurezas del material vegetal seco, como ser palos, piedras, cuerpos extraños, todo lo más grande y lo más pequeño como es el polvo. Las corrientes clasificadas pueden ser dirigidas a otro proceso para recuperarlas. Cuando el material vegetal es colectado adecuadamente, el vegetal estaría libre de impurezas y no sería necesaria esta operación.

El seleccionador posee un tamiz separador de 70 cm de ancho y 1,3 m de largo, con malla milimétrica de acero. El material vegetal seco es colocado sobre el dispositivo y se selecciona por

manualmente las impurezas y el polvo es separado por la malla, dejando material apto para cargar al equipo extractor, figura 20.

### **B) Ablandador de agua.**

La técnica para conseguir agua blanda consiste en eliminar los iones del agua dura (calcio y magnesio). En algunos casos los iones hierro también pueden ser eliminados durante el proceso de ablandamiento. El procedimiento ha resultado en usar una unidad de ablandamiento de aguas y conectarla directamente al suministro de agua. Los ablandadores sustituyen los minerales por otros, generalmente el sodio por intercambio iónico.



**Figura 21.** Foto del equipo para ablandar agua, en la Carrera de Química Industrial.

La superficie intercambiadora, es catiónica (resina-poliestireno), constituyéndose en un depósito de minerales.

El calcio y el magnesio (cargas positivas) ocuparán los sitios de intercambio catiónico (ocupados previamente por sodio). Cuando una salmuera concentrada pasa a través del depósito que contiene los granos plásticos saturados con calcio y magnesio, se

mezcla con el volumen de iones de sodio, esta supuesto que esto arrastra los iones de calcio y de magnesio fuera de los granos de plástico. El ablandador de agua tiene un depósito de salmuera separado de los granos que usa una sal común para crear esta salmuera.

En la operación normal, el agua dura entra en el tanque mineral y los iones de calcio y de magnesio se mueven a los granos, substituyendo iones del sodio. Los iones del sodio entran el agua. Cuando los granos se saturan con calcio y el magnesio, la unidad comienza un ciclo trifásico de la regeneración. Primero, la fase de retro lavado invierte el flujo del agua para quitar la suciedad del depósito. En la fase de la recarga, la solución de sal concentrada y sodio-rica fluye del depósito de la salmuera al depósito mineral. El sodio recoge en los granos, substituyendo el calcio y el magnesio, que van abajo del dren. Cuando esta fase se termina, se elimina el exceso de la salmuera del depósito mineral y se rellena el depósito de la salmuera.

Las aguas duras se miden en gramos por galón (GPG), o miligramos por litro (mg/l, equivalente a partes por millón (ppm). El agua hasta 1 GPG (17.1 mg/L) es considerada suave y un agua de 60 a 120 GPG es considerada moderadamente dura. La eficacia del ablandador de agua depende de cuánto es la dureza del agua entrante. El agua sobre 100 GPG puede no ser completamente ablandada.

El presente ablandador tiene una capacidad de  $0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , y consta de las siguientes partes: Dos columnas con resinas catiónicas, dos recipientes para adicionar la solución de NaCl (situados en la parte superior del equipo), un recipiente para desechar la solución de regeneración de la resina catiónica (situada en la parte inferior del equipo), un tanque para depositar el agua blanda y una serie de conexiones con mangueras y tuberías. Todo el sistema está sujetado por un soporte metálico de 1.74 m de alto, 40 cm de fondo y 60 cm de ancho, figura 21.

La solución de salmuera para regenerar la resina catiónica, debe prepararse de la siguiente manera: En 7,5 L de agua destilada, añadir 600 g de NaCl y agitar la mezcla.

Luego filtrar la solución para separar las impurezas de la salmuera, y finalmente vaciar el filtrado en el recipiente de adición, para adicionar a las columnas con resinas catiónicas. Después de adicionar la solución de sal muera, se debe hacer pasar una corriente de agua destilada hasta que se pierda lo salado. Luego estará listo para ablandar el agua dura.

### C) Caldera.

La caldera es una maquina o dispositivo de ingeniería diseñado para generar vapor. Este vapor se genera a través de una transferencia de calor a presión constante, en la cual el fluido, originalmente en estado líquido, se calienta y cambia de estado.

En general, la caldera es todo aparato de presión donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en energía utilizable, a través de un medio de transporte.



**Figura 22.** Foto del generador de vapor, en la Carrera de Química Industrial de la UMSA

La caldera es un caso particular en el que se eleva a altas temperaturas de intercambiadores de calor, en la cual se produce un cambio de fase. Además, es recipiente de presión, por lo cual es construida en parte con acero laminado a semejanza de muchos contenedores de gas.

En la caldera, el fluido en estado líquido (agua blanda) se encuentra en un recipiente atravesado por tubos, por los cuales circulan gases a alta temperatura, producto de un proceso de combustión. El agua se evapora al contacto con los tubos calientes producto a la circulación de los gases de escape, por tratarse de un caldero piro tubular.

El caldero posee accesorios que permite su utilización en forma segura, los que son:

- Accesorios de observación: indicador de nivel de agua y manómetro. En el caso del manómetro, esto indica con una línea roja indeleble la presión máxima de la caldera.
- Accesorios de seguridad: válvula de seguridad, sistema de alarma, sellos o puertas de alivio de sobre presión en el quemador y tapón fusible. El sistema de alarma visual, se activa cuando el nivel de agua llegue al mínimo, y además detiene el sistema de combustión.

La caldera generador de vapor, constan de dos partes principales:

- Cámara de agua: es el espacio que ocupa el agua en el interior de la caldera. El nivel de agua se fija en su fabricación, de tal manera que sobrepase en unos 15 centímetros por lo menos a los tubos o conductos de humo superiores. Con esto, a toda caldera le corresponde una cierta capacidad de agua, lo cual forma la cámara de agua.
- Cámara de vapor: Es el espacio ocupado por el vapor en el interior de la caldera, en ella debe separarse el vapor del agua que lleve una suspensión. Cuanto más variable sea el consumo de vapor, tanto mayor debe ser el volumen de esta cámara, de manera que aumente también la distancia entre el nivel del agua y la toma de vapor.

La unidad cuenta con un quemador automático QV (Voltaje: 220V, Frecuencia: 50/60 Hz - Monofásico). Además cuenta con una bomba de agua de 1.5 HP MOCHI MF-CB 110/55M. La caldera es de marca SUSSMAN, industria USA, modelo MBA9.

Las dimensiones de la caldera, son: 45 cm de alto, 51 cm de largo y 40 cm de fondo. La unidad utiliza como combustible, gas natural o GLP para suministrar energía calorífica, a través de un

quemador, a la unidad. Luego la presión de trabajo es de 85 psi y tiene una capacidad de vapor de 50 Lb/h, figura 22.

#### **D) Puente regulador de presión.**

Los reguladores de presión son dispositivos de control de flujo diseñados para mantener una presión constante, independientemente de las variaciones de presión a la entrada o los cambios de requerimientos de flujo. Los mecanismos internos que componen un regulador, automáticamente controlan o limitan las variaciones de presión a un valor previamente establecido. Está constituido por tuberías en serie, controlados manualmente y auto controlados, que operan midiendo la presión de línea y manteniéndola en el valor fijado, sin necesidad de fuentes externas de energía.



**Figura 23.** Foto del puente de regulación de presión, en la Carrera de Química Industrial.

Un regulador básicamente es una válvula de recorrido ajustable conectada mecánicamente a un diafragma. El diafragma se equilibra con la presión de salida o presión de entrega y por una fuerza aplicada del lado contrario, a la cara que tiene contacto con la presión de salida. La fuerza aplicada del lado opuesto al diafragma puede ser suministrada por un resorte, un peso o presión aportada por otro instrumento denominado piloto. El piloto es, por lo general, otro regulador más

pequeño o un equipo de control de presión. También existe la presión ejercida por el aire (presión atmosférica), aparte de la carga del resorte.

El puente regulador de presión, consta de una serie de conexiones (tuberías de acero al carbono), y los accesorios con los que cuenta son: Codos de 90°, nipples hexagonales, uniones universales, coplas, y empalmes en T, todas de acero al carbono #3000 roscado NPT de 1". También cuenta con filtros tipo Y de acero inoxidable de 316 PN 40 conexión roscada de ½" y 1", reductores tipo buje de acero al carbono #3000 NPT de 1" X ½", trampa termodinámica de acero inoxidable AISI 420 conexión roscada de ½", y codos de 90° acero al carbono #3000 roscado NPT de ½" H-H. Luego tenemos las válvulas esféricas de acero al carbono PN 70 conexión roscada de ½" y 1", válvula reguladora de presión de acción directa modelo BRV 2S conexión roscada 1", válvula de retención de tipo claveta #800 conexión roscada de ½", y manómetros analógicos, situados en la parte superior del dispositivo, figura 23.

#### E) Extractor de aceites esenciales.



**Figura 24.** Foto del equipo extractor, en la Carrera de Química Industrial de la UMSA.

El equipo escala piloto consta de un tanque de extracción de 100 litros de capacidad, construido con acero inoxidable (material). El equipo está diseñado para soportar 2 bares de presión (presión de trabajo) y una temperatura de 130 °C a dicha presión, figura 24.

El extractor tiene un sistema de control automático de temperatura (sensor térmico), y está provisto de un manómetro para el control de presión.

Las salidas cuentan con válvulas esféricas de acero inoxidable, roscada de  $\frac{1}{2}$  ". El equipo cuenta con purga en el fondo de la cámara y posee válvula de seguridad o alivio de  $\frac{1}{2}$  ".

Se cuenta con un canastillo (capacidad de 100 litros), donde se aloja el material vegetal, y el espesor del aislante térmico (lana mineral) es una pulgada.

El casco cilíndrico (espesor) se ha sido diseñado sometiendo a las cargas elástica, sísmica y presión interna. Los dispositivos de cierre son fácilmente desmontables, sobre todo teniendo en cuenta que cada vez que se cargue y descargue material vegetal. El vapor de agua es inyectado por los fondos del equipo (destilación por arrastre con vapor) o generado en esa sección (método directo), en el que el material está en contacto íntimo con el vapor generado en esa sección. En este caso, se dejan en un mismo compartimento el agua y el material a extraer (hidrodestilación), y debe colocarse una trampa al final del refrigerante.

En esta última técnica, el vapor generado en la caldera, ingresa al interior del equipo, mediante un serpentín por los fondos de la cámara de extracción. El equipo tiene un peso aproximado de 100 Kg, y sus dimensiones son: 47,5 cm de diámetro y 1 m de altura. Tiene un sistema de control de vapor saturado seco, con trampa de vapor y filtros en "y", con válvula esférica de salida a desagüe, todo de  $\frac{3}{4}$  ". Está provisto de un disco de vidrio en la tapa de vaciado, para ver el interior de la cámara.

#### **F) Condensador**

Este es un intercambiador de calor, en el cual se presenta un cambio de fase vapor – líquido, debido a la transferencia de calor del vapor a un refrigerante (agua). Uno de los condensadores más utilizados es el intercambiador de calor de casco y tubos. Este tipo de condensador ha obtenido una gran aplicabilidad y aceptabilidad en la industria de extracción de aceites esenciales, debido a la alta capacidad de estos equipos.

El condensador cuenta con tres tubos (serpentines), por donde circula el vapor, y la carcasa para el flujo de refrigerante (agua potable), ambos circulan en contracorriente.

El casco tiene una capacidad de 2 a 4 Litros/hora (según carga y materia prima) y el intercambio de calor es realizado con agua potable. El control de salida e ingreso, es con válvula de control de  $\frac{1}{2}$  ", y la conexión con acoples y accesorios necesarios con sistema de seguridad apropiados, más las conexiones con manguera de alta presión.

El condensador no solo condensa vapor destilado, si no también garantiza que el condensado, salga a una temperatura en la cual el aceite esencial y el agua se separen adecuadamente según sus densidades. Se requiere una zona de subenfriamiento antes de salir, dividiendo el condensador en dos zonas (figura 28). En cuanto al material, todo el intercambiador, está construido con acero inoxidable y cuenta con un soporte metálico apropiado.

#### **G) Separador de fases.**



**Figura 25.** Foto de la separación, en la Carrera de Química Industrial de la UMSA

Son los dispositivos destinados para la separación del aceite esencial del vapor de agua condensado que se utilizó para su extracción del material vegetal. Debido a las características propias de los aceites esenciales, podemos dividirlos para su separación en dos grandes grupos "aceites esenciales pesados" y aceites esenciales ligeros". Esta división se basa en que los aceites esenciales tienen una densidad cercana a la del agua. Se denominan "aceites esenciales pesados"

a aquellos aceites esenciales cuya densidad es mayor a la densidad del agua y por consiguiente se depositan en la parte inferior del separador (Cerpa, 2008).

Por lo contrario los “aceites esenciales ligeros” son aquellos aceites esenciales que tiene una densidad menor a la densidad del agua por lo tanto se acumulan en la superficie de la misma. Se sabe que también influye la temperatura a la que se realiza la separación. Con el incremento de la temperatura, la densidad de los aceites decrece más rápidamente que la densidad del agua. Así, en los “aceites esenciales ligeros” la diferencia entre densidades se hace mayor con el incremento de la temperatura y esto permite que se separen con facilidad. Cuando la viscosidad del condensado es demasiada alta como para dar tiempo a una buena separación de la esencia, o cuando hay demasiada turbulencia en la caída del líquido condensado se suelen emplear más de un frasco separador, colocados en serie, para lograr una mayor eficiencia.

En el trabajo se usaron embudos de separación (material de vidrio) de medio litro de capacidad cada uno, asegurados en un soporte universal. Para coleccionar el agua floral, se dispuso de un matraz Erlenmeyer de 5 litros de capacidad. El vapor condensado se separa gradualmente del aceite esencial, al abrir las llaves de los embudos, figura 25.

### **5.3.5.- Balance de materia**

#### **5.3.5.1.-Balance del proceso de obtención del aceite de Khoa, de Ambana**

Consideración técnica, el balance de materia se realizó con la cantidad más considerable de aceite esencial (octava extracción a escala piloto) de la cuadro 53, de datos experimentales.

Datos del proceso:

Materia vegetal: 8 Kg

Tiempo de extracción: 200 min

Aceite esencial: 177 ml

Agua floral: 5950 ml

Residuo de extracción: 8,8237 Kg

**Cuadro 76. Densidad absoluta del agua floral**

Dato #	Pícnometro de cinco mililitros		Densidad (g/ml)
	vacío (g)	Con aceite (g)	
1	9,8946	14,9051	1,0021
2	10,8803	15,8838	1,0007
3	10,0405	15,046	1,0011
Promedio			1,0013

**a) Flujos máscicos del agua y aceite, obtenidos en la extracción**

$$F_{H_2O} = \frac{5950 \text{ ml}}{200 \text{ min}} * \frac{1,0013 \text{ g}}{1 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 1,7873 \text{ Kg/h}$$

$$F_{\text{aceite}} = \frac{177 \text{ ml}}{200 \text{ min}} * \frac{0,9598 \text{ g}}{1 \text{ ml}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 0,0510 \text{ Kg/h}$$

**b) Alimentación del material vegetal, al extractor**

$$F = \frac{8 \text{ kg}}{200 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 2,4 \text{ Kg/h}$$

**c) Residuo del material vegetal, al final de la extracción**

$$\frac{8,8237 \text{ kg}}{200 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 2,6471 \text{ Kg/h}$$

**d) Nomenclatura del balance de materia, según Reklaitis, 1990**

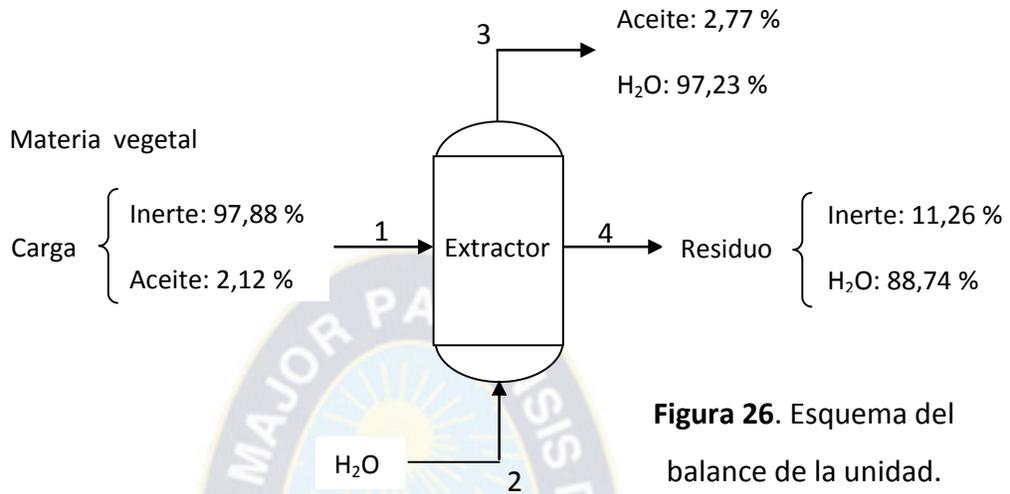
$F^n$  → Flujo máscico total, por la corriente "n"

$F_x^n$  → Flujo máscico del componente "x" por la corriente "n"

$W_x^n$  → Fracción máscica componente "x" por la corriente "n"

En la figura 26, se muestra el balance de materia de la unidad de extracción, con datos que proviene de la octava extracción, cuadro 53. Cuyas operaciones iniciales del balance, se muestran en los incisos (a), (b) y (c) del subtítulo 4.3.5.1, con 1,7873 kg/h de agua, 0,0510 Kg/h de aceite, 2,4 Kg/h de vegetal y 2,6471 Kg/h de residuo húmedo.

**e) Balance de la unidad**



**Figura 26.** Esquema del balance de la unidad.

Relaciones de flujo:

$$F_{aceite}^1 = F_{aceite}^3$$

$$F_{inerte}^1 = F_{inerte}^4$$

$$F_{aceite}^3 = 0,0510 \text{ Kg/h} \qquad F^1 = 2,4000 \text{ Kg/h}$$

$$F_{H_2O}^3 = 1,7873 \text{ Kg/h} \qquad - F_{aceite}^1 = 0,0510 \text{ Kg/h}$$

$$F^3 = 1,8383 \text{ Kg/h} \qquad F_{inerte}^1 = 2,3490 \text{ Kg/h}$$

$$F^4 = 2,6471 \text{ Kg/h}$$

$$- F_{inerte}^4 = 2,3490 \text{ Kg/h}$$

$$F_{H_2O}^4 = 0,2981 \text{ Kg/h}$$

Balance del agua:  $F_{H_2O}^3 + F_{H_2O}^4 = F_{H_2O}^2$

$$F_{H_2O}^2 = 1,7873 \text{ Kg/h} + 0,2981 \text{ kg/h} = 2,0854 \text{ Kg/h}$$

Fracciones másicas:

$$W_{\text{aceite}}^1 = F_{\text{aceite}}^1 / F^1 = 0,0510 / 2,4 = 0,0212$$

$$W_{\text{aceite}}^3 = F_{\text{aceite}}^3 / F^3 = 0,0510 / 1,8383 = 0,0277$$

$$W_{\text{H}_2\text{O}}^4 = F_{\text{H}_2\text{O}}^4 / F^4 = 0,2981 / 2,6471 = 0,1126$$

**f) Determinación del flujo de entrada de vapor, a la cámara de extracción con la ecuación general de los gases**

Dimensiones de la cámara de extracción:  $D_i = 41 \text{ cm}$  ;  $H = 95 \text{ cm}$

Volumen de la cámara de extracción:  $\pi * R_i^2 * H$   
 $\pi * (20,5 \text{ cm})^2 * 95 \text{ cm}$   
 125,424 L

Condiciones del proceso:  $P = 1 \text{ bar}$  ;  $T = 110^\circ\text{C}$  ;  $t = 2 \text{ min}$

Ecuación de estado.  $P * V = n * R * T$  ; Donde:  $n = m/M$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{P * V * M}{R * T} = \frac{0,9869 \text{ atm} * 125,424 \text{ Lt} * 18 \text{ g/mol}}{0,082 \frac{\text{atm Lt}}{\text{mol}^\circ\text{K}} * 383^\circ\text{K}}$$

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = 70,9437 \text{ g}$$

$$F_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{m_{\text{H}_2\text{O}}}{t} = \frac{70,9437 \text{ g}}{2 \text{ min}} * \frac{1 \text{ Kg}}{1000 \text{ g}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 2,128 \text{ Kg/h}$$

Con respecto a la determinación del flujo de entrada de vapor (H<sub>2</sub>O), al Extractor de Aceites Esenciales (Aceite de Khoa). La reproducibilidad de valores difiere en 0,0489 kg/h vapor de agua. Pero el valor utilizado en todos los cálculos de determinación de costos de operación es el que se obtiene con los datos de balance de materia y los resultados de la operación se muestran en los incisos (e) y (f) subtítulo 4.3.5.1, con 2,0854 Kg/h y 2,128 Kg/h respectivamente.

**g) Capacidad de la cámara de extracción**

Volumen del canasto.  $\pi * R_i^2 * h$  ; Donde:  $h = 76 \text{ cm}$   
 $\pi * (20,5 \text{ cm})^2 * 76 \text{ cm}$   
 100,34 L.

Densidad del llenado:  $\delta = m / V$   
 $\delta = 90\text{g} / 1000\text{ml}$   
 $\delta = 0,09 \text{ g/ml}$

Dónde:  $m \rightarrow$  masa del vegetal seco  
 $V \rightarrow$  volumen del recipiente de medida  
 $m = V * \delta = (0,09 \text{ Kg/ml})(100,34\text{Lt}) = 9,03 \text{ Kg}$

**h) Porcentaje de impurezas del material vegetal**

$$\% \text{Impurezas} = \frac{m^o - m_f}{m^o} * 100\%$$

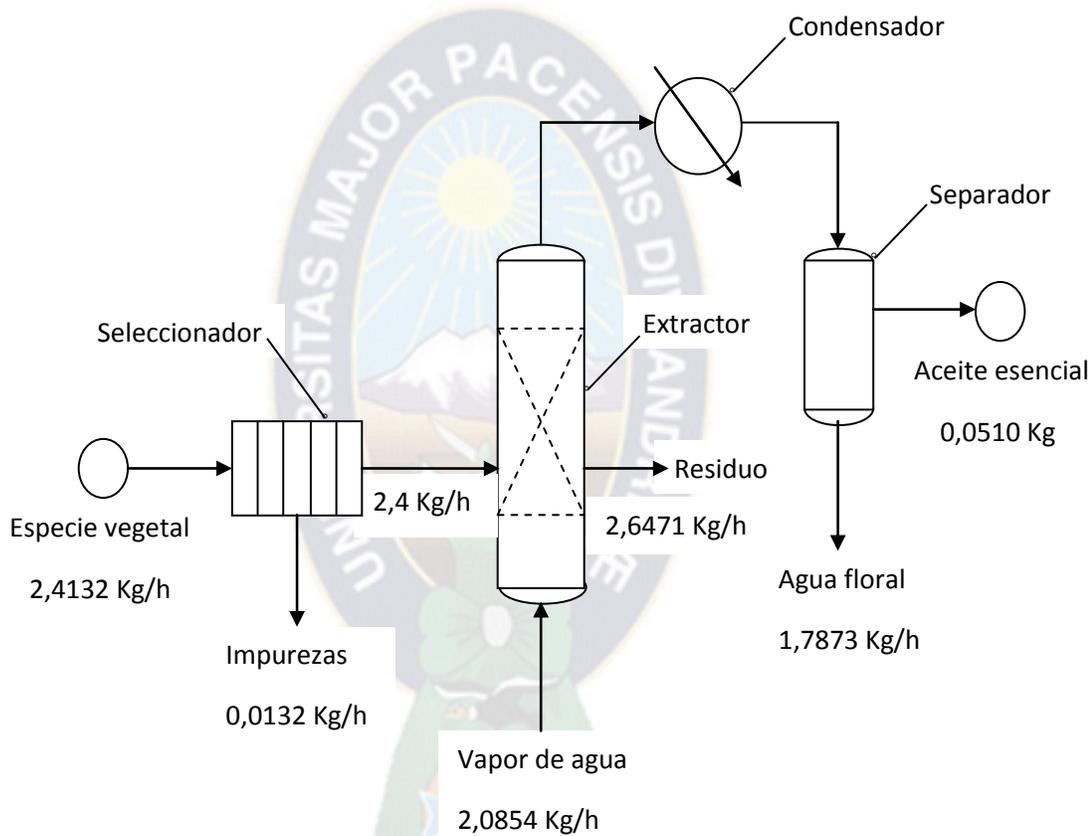
Dónde:  $m^o \rightarrow$  vegetal seco y desojado, que ha sido colectado en el área rural  
 $m_f \rightarrow$  vegetal seco y desojado, después de separar las partículas extrañas

**Cuadro 77. Impurezas de la Khoa, proveniente de Ambana**

# de datos	$m^o$ (kg)	$m_f$ (Kg)	% Impurezas
1	1,0005	0,9951	0,5397
2	1,0013	0,9962	0,5093
3	2,0025	1,9902	0,6142
4	3,0016	2,9846	0,5664
5	2,0214	2,0107	0,5293
Promedio			0,5518

**i) Balance general del proceso de obtención del aceite de Khoa**

Con los resultados previos, el diagrama del balance general del proceso muestra el ingreso al sistema de 2,413Kg/h de material como materia prima, 2,4 Kg/h de materia seleccionada, 2,085 Kg/h de vapor de agua con un resultado de 0,051 Kg de producto. Los residuos quedan en 2,6471 Kg/h de residuo y 1,787 Kg/h de agua floral, figura 27.



**Figura 27.** Esquema del balance general del proceso de extracción.

**j) Producciones y consumos para 8 horas de trabajo continuo**

Cantidad de vapor requerido para la extracción:

$$8 \text{ h} * \frac{2,0854 \text{ Kg}}{1 \text{ h}} = 16,6832 \text{ Kg}$$

Producción de aceite esencial de Khoa:

$$8 \text{ h} * \frac{177 \text{ ml}}{200 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 424,8 \text{ mililitros}$$

Cantidad de vapor condensado (agua floral):

$$8 \text{ h} * \frac{5950 \text{ ml}}{200 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ Lt}}{1000 \text{ ml}} = 142,8 \text{ litros}$$

Requerimiento de materia prima (*Satureja boliviana*):

$$8 \text{ h} * \frac{2,4132 \text{ Kg}}{1 \text{ h}} = 19,3056 \text{ Kg}$$

Requerimiento de materia prima, libre de impurezas:

$$8 \text{ h} * \frac{8 \text{ Kg}}{200 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 19,2 \text{ Kg}$$

Residuo de extracción húmedo:

$$8 \text{ h} * \frac{2,6471 \text{ Kg}}{1 \text{ h}} = 21,1768 \text{ Kg}$$

Residuo de extracción seco:

$$8 \text{ h} * \frac{7,8245 \text{ Kg}}{200 \text{ min}} * \frac{60 \text{ min}}{1 \text{ h}} = 18,7788 \text{ Kg}$$

Consumo de combustible (G.L.P.):

$$8 \text{ h} * \frac{0,86 \text{ Kg}}{1 \text{ h}} = 6,88 \text{ Kg}$$

Consumo de refrigerante (agua):

$$8 \text{ h} * \frac{240 \text{ Kg}}{1 \text{ h}} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ Kg}} = 1,92 \text{ m}^3$$

Consumo de energía eléctrica (bomba de agua):

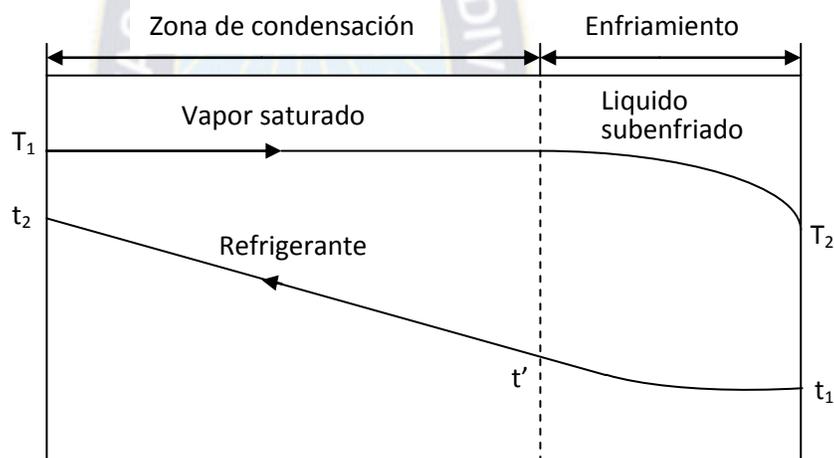
$$8 \text{ h} * 1,5 \text{ HP} * \frac{0,7457 \text{ KW}}{1 \text{ HP}} = 8,9484 \text{ KW}$$

Se han calculado las cantidades de producciones y consumos, para ocho horas de trabajo continuo que equivale a un jornal de trabajo, el cual no afecta en el rendimiento porque es un sistema discontinuo. La materia prima e insumos son utilizados directamente de los almacenes, en la operación.

### 5.3.5.2.-Proceso térmico en el intercambiador de calor

Condiciones del proceso:

- La salida de vapor de la cámara de extracción, es a  $110^{\circ}\text{C}$  y 1 bar de presión
- Los datos experimentales del proceso, han sido promediados



**Figura 28.** Zonificación del condensador

Temperaturas del proceso:

$T_1 \rightarrow$  Temperatura de entrada del vapor, al condensador

$T_2 \rightarrow$  Temperatura de salida, del condensado

$t_1 \rightarrow$  Temperatura de entrada, del agua de enfriamiento

$t_2 \rightarrow$  Temperatura de salida, del agua de enfriamiento

$t' \rightarrow$  Temperatura intermedia, del agua de enfriamiento

**Cuadro 78. Datos del proceso**

Fluido	T. entrada	T. salida	Flujo másico	
<b>Tubo</b>	Vapor	86°C	17,7°C	1,8 Kg/h = 0,0005 Kg/s
<b>Casco</b>	Agua	10°C	14,5°C	240 Kg/h = 0,0667 Kg/s

Datos de criterio:

- El flujo de vapor debe ser por los tubos, y por el casco debe circular agua
- El flujo de vapor y el agua de enfriamiento deben fluir en contracorriente

Propiedades del fluido (agua), en la condensación:

Entalpia de vaporización: 2257 KJ/Kg

Calor específico: 4174 J/Cg°.

Coefficiente global de transferencia de calor: 810 W/m<sup>2</sup>°C

Zona de subenfriamiento:

Coefficiente integral de transmisión de calor: 167 W/m<sup>2</sup>°C

Consulta bibliográfica (tablas)

- Propiedades del agua, transferencia de calor, Anthony F. Mills, 1999
- Part. III del Field distillation for herbaceous oil E.F.K (TIM) DENNY, 2001
- Problemas de Ingeniería Química. Ocon García, 1970.

Cantidad de calor a extraer en la zona de condensación

$$Q_{\text{cond}} = m_t * h_{\text{fg}}$$

Dónde:  $Q_{\text{cond}}$  → Calor latente de condensación

$m_t$  → Flujo másico por los tubos (vapor)

$h_{\text{fg}}$  → Entalpia de vaporización

$$Q_{\text{cond}} = (0,0005 \text{ Kg/s}) (2257 \text{ KJ/Kg}) = 1128,50 \text{ W}$$

El calor que desprende el vapor en su cambio de fase, es igual al que recibe el agua:

$$Q_{\text{cond}} = Q_{\text{agua}}$$

$$Q_{\text{agua}} = m_c * C_{p_c} (t_2 - t')$$

Dónde:  $Q_{\text{agua}}$  → Calor sensible del agua refrigerante

$m_c$  → Flujo másico por el lado del casco

$C_{p_c}$  → Calor específico a la temperatura media del agua

$$t' = t_2 - \frac{Q_{\text{agua}}}{m_c * C_{p_c}} = 14,5^\circ\text{C} - \frac{1128,50 \text{ W}}{(0,0667 \text{ Kg/s})(4174 \text{ J/Kg}^\circ\text{C})} = 10,45^\circ\text{C}$$

El calor transferido, por enfriamiento del fluido caliente es:

$$Q = U * A_{\text{cond}} * \Delta T_{\text{log}}$$

Dónde:  $U$  → Coeficiente global de transferencia de calor

$A_{\text{cond}}$  → Área de transmisión de calor

$\Delta T_{\text{log}}$  → Promedio logarítmico de las temperaturas de los fluidos

$$\Delta T_{\text{Log}} = \frac{(T_{\text{sat}} - t') - (T_{\text{sat}} - t_2)}{\ln\left(\frac{T_{\text{sat}} - t'}{T_{\text{sat}} - t_2}\right)} = \frac{(86 - 10,45) - (86 - 14,50)}{\ln\left(\frac{86 - 10,45}{86 - 14,50}\right)} = 73,51^\circ\text{C}$$

Entonces:

$$A_{\text{cond}} = \frac{Q}{U * \Delta T_{\text{Log}}} = \frac{1128,50 \text{ W}}{(810 \text{ W/m}^2\text{C})(73,51^\circ\text{C})} = 0,019 \text{ m}^2 = 190 \text{ cm}^2$$

Área total:  $A_{\text{total}} = A_{\text{cond}} + A_{\text{subenf}}$

Dónde:  $\ell = 3 * \ell' = 3 * 80 \text{ cm} = 240 \text{ cm}$

$$r = d / 2 = 0,635 \text{ cm} / 2$$

$$A_{\text{total}} = 2 * \pi * r * \ell = 2 * \pi * \frac{0,635 \text{ cm}}{2} * 240 \text{ cm} = 678,78 \text{ cm}^2$$

Entonces:  $A_{\text{subenf}} = 478,78 \text{ cm}^2 - 190 \text{ cm}^2 = 288,78 \text{ cm}^2 = 0,029 \text{ m}^2$

Cantidad de calor a extraer en la zona de subenfriamiento

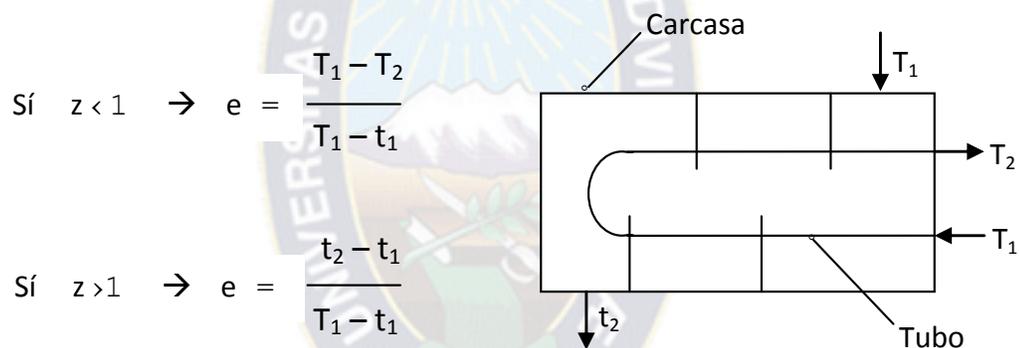
$$Q_{\text{subenf}} = u * A_{\text{subenf}} * \Delta T_{\text{log}}$$

Dónde:  $u \rightarrow$  Coeficiente integral de transmisión de calor

$$\Delta T_{\text{Log}} = \frac{(T_{\text{sat}} - t') - (T_2 - t_1)}{\text{Ln} \left( \frac{T_{\text{sat}} - t'}{T_2 - t_1} \right)} = \frac{(86 - 10,45) - (17,70 - 10)}{\text{Ln} \left( \frac{86 - 10,45}{17,70 - 10} \right)} = 29,71^\circ\text{C}$$

$$Q_{\text{subenf}} = (167 \text{ W/m}^2\text{C}) (0,029 \text{ m}^2) (29,71^\circ\text{C}) = 143,88 \text{ W}$$

Eficacia del intercambiador de calor, según Ocon García, 1970.



**Figura 29.** Esquema del intercambiador de calor en contra corriente.

Dónde:  $z \rightarrow$  Relación de capacidades caloríficas

$$z = \frac{t_2 - t_1}{T_1 - t_1} \rightarrow z = \frac{14,5^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}}{86^\circ\text{C} - 17,7^\circ\text{C}} = 0,059$$

$$e = \frac{86^\circ\text{C} - 17,7^\circ\text{C}}{86^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C}} = 0,8987 \text{ } \circ\circ \text{ } 89,87 \%$$

Capacidad de la carcasa en el intercambiador de calor

Dimensiones del casco:  $L = 65 \text{ cm}$  ;  $D = 18 \text{ cm}$

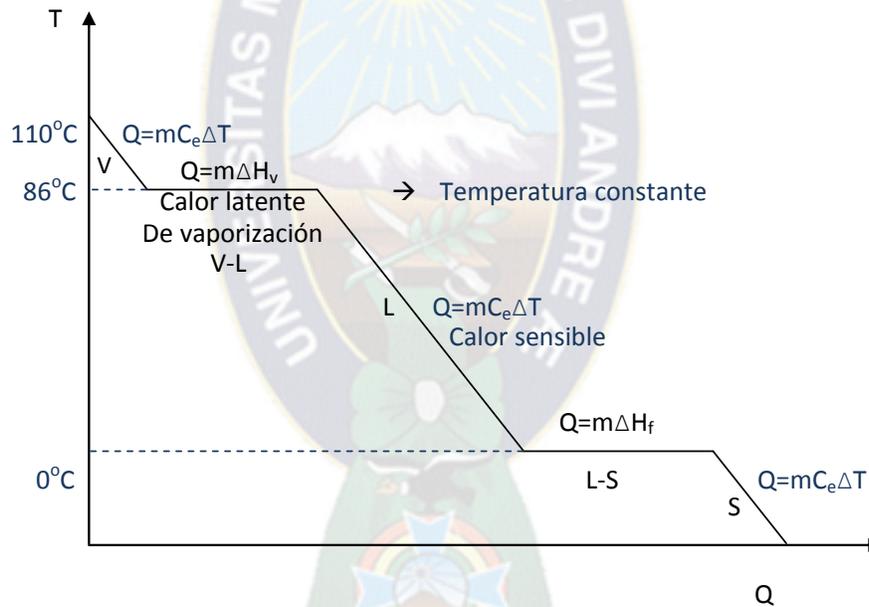
$$V_c = \pi * R^2 * L$$

Volumen de la carcasa:  $V = \text{Volumen del casco} - \text{Volumen de los tubos}$

$$V = \pi(R^2 * L - r^2 * \ell)$$

$$V = \pi[(9 \text{ cm})^2 * 65 \text{ cm} - (\frac{0,635}{2})^2 * 240 \text{ cm}]$$

$$V = 16464,479 \text{ cm}^3 \text{ } \circ \circ \circ \text{ } V = 15,4645 \text{ Lt.}$$



**Figura 30.** Curva de referencia, del enfriamiento del vapor de agua.

En la figura 30, se muestra la curva de enfriamiento del vapor de agua, mostrando los calores sensibles y los calores latentes de vaporización y fusión. Luego en la figura 29, se muestra el esquema del intercambiador de calor, con su respectiva determinación de la eficacia, cuyo valor es del 89,87%.

### 5.3.5.3.- localización y tamaño de la planta de extracción a escala piloto

El proyecto se ha ubicado en el ambiente del laboratorio de la carrera de Química Industrial, como se muestra en la figura 28, el cual cuenta con todos los servicios básicos que necesita el proyecto, pero la materia prima (especie vegetal), se trasladó de las regiones indicadas anteriormente. En cuanto a la capacidad de producción del aceite esencial, dependió de la materia prima, y la extracción se realizó a escala piloto.

Al ser un proyecto orientado a la conservación del medio ambiente, fue necesario medir si tendría algún efecto negativo sobre el mismo, la implementación y funcionamiento de la planta de destilación de aceites esenciales, de la siguiente manera:

#### a) Impacto ambiental: Funcionamiento de la planta

Para analizar mejor el impacto ambiental que se podría generar con este proyecto, se consideraron los aspectos como:

- Residuos: Los residuos generados por la destilación de aceite esencial de Khoa, es el material del que se extrae el producto; en este caso, serán las hojas secas de Khoa. Lo que se propone es hacer el abono vegetal para ofrecer a los mismos proveedores de la materia prima.
- Deforestación: Al trabajar con hojas y tallitos, resulta importante analizar la deforestación, dado que la materia prima de la que se extrae el producto son las hojas de khoa; estas no afectan a las funciones vitales de la planta. Se considera entonces que solamente se pueda afectar a la repoblación de los arbustos de Khoa; por lo que se propone concientizar a los mismos recolectores para que puedan realizar la plantación intencional de arbustos de Khoa, generando en un futuro mayor cantidad de materia prima que pueda generar más ingresos para la comunidad.
- Emanación de gases: El proceso productivo de la destilación de aceite esencial de Khoa no genera gases que sean nocivos para la salud sino que incluso puede

emanar vapor o gases que pueden ser utilizados como nebulizadores, eliminando bacterias del medio ambiente que causan enfermedades.

### **b) Impacto ambiental: Consumo de recursos**

Referido a los principales recursos a utilizar en el proceso de producción del aceite esencial de Khoa:

- Agua: Se asegura la conservación de este recurso que será minimizada por métodos de recirculación, evitando consumir nuevas cantidades de agua; se ha considerado esto de tal manera que vea una utilización mínima de este recurso. El agua utilizada en el proceso de destilación por arrastre de vapor genera un agua de condensación con propiedades antisépticas, pudiendo ser utilizada para limpiar ambientes mediante su pulverización, evitando la aparición y propagación de virus y bacterias.
- El gas: Se prevé el uso de GNC, evitando así el manejo de garrafas que pueden no ser seguras luego de su vida útil. A demás, el uso del gas produce menor contaminación que otros generadores de calor.

En la figura 31, se muestra la planta de extracción de aceite esencial, ubicado sobre un área total de 65,526 m<sup>2</sup>, indicando las diferentes áreas del proceso y la codificación respectiva, que a continuación se detalla:

C→Caldero generador de vapor	c →Controlador automático	L → Lavamanos
ε→Extractor de aceite esencial	E → Energía eléctrica	
R→Refrigerante o condensador	P → Puente regulador de presión	
A→Ablandador de agua	T → Tanque de agua blanda	
G→Garrafa para G.L.P	Q → Quemador del caldero	
B →Bomba de agua	t → Caja de palancas térmicas	

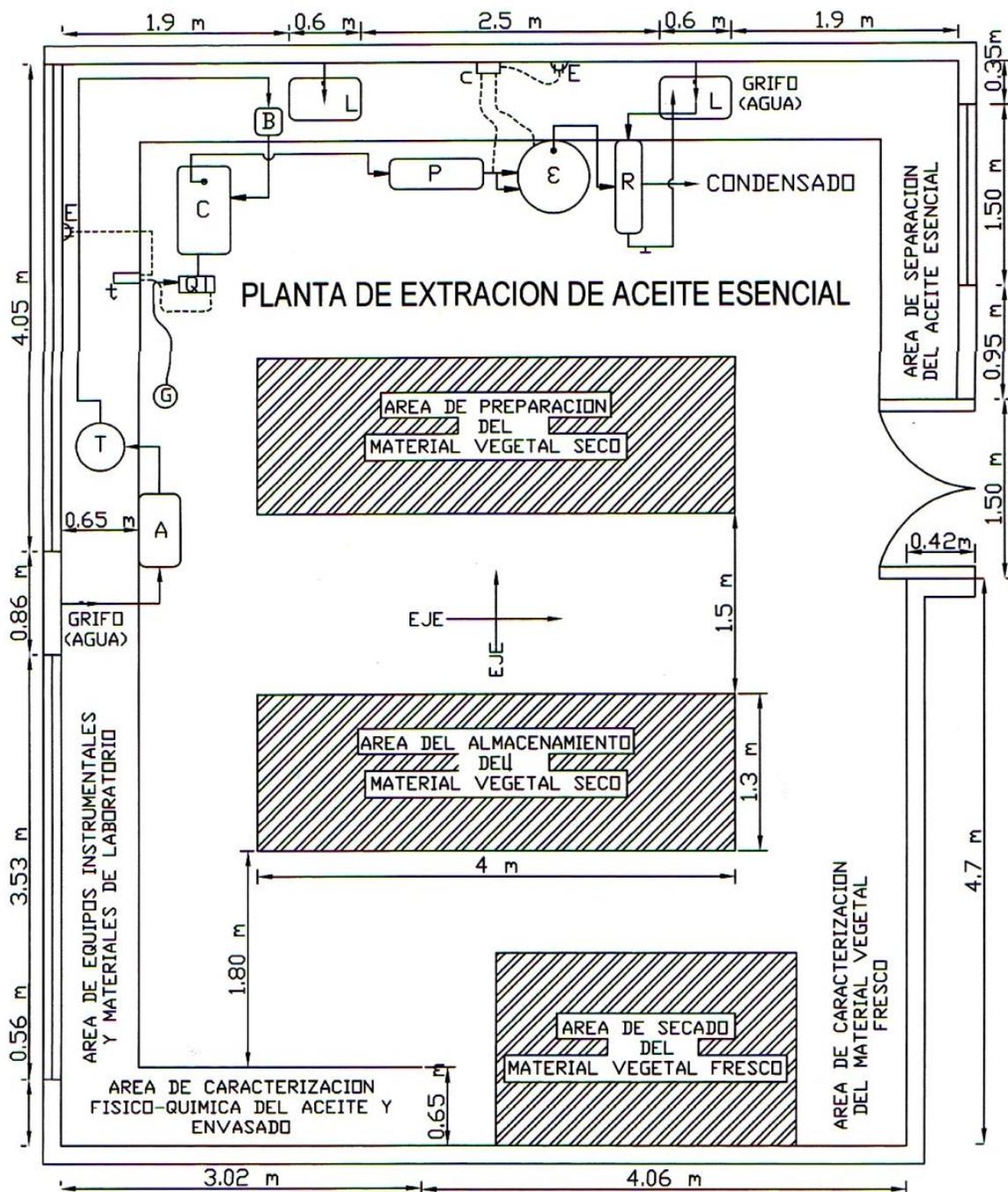


Figura 31. Ubicación de la planta de extracción a escala piloto.

**5.4.- Análisis económico****5.4.1.-Inversiones fijas, diferidas, y capital de trabajo****Cuadro 79. Estructura de inversiones**

<b>DETALLE DE INVERSIONES</b>	<b>MONTO TOTAL (En Bs)</b>
<b><u>INVERSIONES FIJAS</u></b>	
- Obras civiles(Ambiente de Laboratorio y proceso)	47068,00
- Maquinaria y Equipo	108260,00
- Muebles y Enceres (Ropero Metálico )	1500,00
- Material de laboratorio y Equipos Instrumentales	367642,00
<b>Total inversiones fijas</b>	<b>524470,00</b>
<b><u>INVERSIONES DIFERIDAS</u></b>	
- Gastos de Organización	2000,00
- Gastos de Instalación, montaje y Puesta en marcha	2500,00
<b>Total inversiones diferidas</b>	<b>4500,00</b>
<b><u>CAPITAL DE TRABAJO(3 MESES)</u></b>	
- Materia Prima	15000,00
- Insumos	4289,00
- Mano de obra	30600,00
- Combustible(G.L.P)	1393,20
- Servicio de Agua y Energía Eléctrica.	935,37
<b>Total capital de trabajo</b>	<b>52217,57</b>
<b>Monto Total General de Inversiones</b>	<b>581187,57</b>

En el cuadro 79, se han cuantificado todos los recursos monetarios necesarios para la implementación y puesta en marcha del proyecto, y la inversión total del proyecto está construido, con los tres rubros principales, que son: las inversiones fijas, inversiones diferidas y el capital de trabajo.

Se considera inversión fija a todo patrimonio tangible de una empresa. Son bienes físicos que no son motivo de transacciones corrientes por parte de una empresa, y las inversiones diferidas son el patrimonio intangible de una empresa; es decir se trata de aquellas inversiones realizadas en los estudios y ejecución del proyecto.

El capital de trabajo o capital de operación, es el efectivo de dinero (recursos) que una empresa requiere para la operación normal de la planta y se calcula para un periodo durante el cual se supone que la planta produce y vende (2 a 3 meses), Ramallo, 2005.

A continuación se desarrollan algunos rubros del cuadro 87, de la siguiente manera:

#### **Cuadro 80. Maquinaria y Equipo**

<b>Detalle de Maquinaria y Equipo</b>	<b>Precio (En Bs)</b>
Ablandador de agua	4000,00
Tanque para agua blanda	250,00
Tuberías y accesorios	700,00
Caldero y sus accesorios	34000,00
Dos garrafas	540,00
Puente regulador de presión	5850,00
Extractor de aceite esencial	53509,00
Condensador de vapor	8000,00
herramientas	1411,00
<b>Total Maquinaria y Equipo</b>	<b>108260,00</b>

**Cuadro 81. Mano de obra**

<b>Cargo</b>	<b>Categoría</b>	<b>Jornal 8 Horas (En Bs)</b>	<b>Total 3 Meses (En Bs)</b>
Jefe de planta	IV	100,00	9000,00
Técnico químico	IV	90,00	8100,00
Ayudante de laboratorio	II	60,00	5400,00
Técnico mecánico	IV	90,00	8100,00
<b>Total mano de obra</b>			<b>30600,00</b>

**Cuadro 82. Material de Laboratorio y Equipos Instrumentales**

<b>Detalle de Materiales y Equipo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (En Bs)</b>
Picnómetro de 5ml	3	450,00
Balón destilador de 1 litro	4	640,00
Balón destilador de 100 ml	3	360,00
Cabeza de destilación	2	900,00
Codo colector	2	360,00
Refrigerante Liebig	2	800,00
Refrigerante de reflujo	3	1350,00
Embudo separador de 500ml	2	500,00
Embudo separador de 250ml	2	440,00
Porta embudos separadores	1	150,00
Embudo analítico	3	225,00
Embudo buckner	1	166,00
Pinza con nuez	8	2000,00
Vidrio reloj de 12cm	3	45,00

Caja petri de 12cm	12	180,00
Gradilla	1	60,00
Tubo de ensayo	12	24,00
Microtubos	20	30,00
Matraz cassia de 100ml	3	240,00
Matraz aforado de 10ml	20	1000,00
Matraz aforado de 100ml	10	900,00
Matraz aforado de 500ml	3	360,00
Matraz Quitazato de 250ml	2	500,00
Matraz Erlenmeyer de 100ml	3	78,00
Matraz Erlenmeyer de 250ml	2	52,00
Matraz Erlenmeyer de 1litro	2	160,00
Matraz Erlenmeyer de 5 litros	1	250,00
Vaso precipitador de 100ml	3	78,00
Vaso precipitador de 250 ml	2	52,00
Vaso precipitador de 1litro	2	120,00
Probeta de 10ml	1	45,00
Probeta de 50ml	1	50,00
Probeta de 100ml	1	60,00
Probeta de 1 litro	1	150,00
Pipeta de 1ml	3	51,00
Pipeta de 5ml	3	51,00
Pipeta de 10ml	3	51,00
Pipeta volumétrica de 25ml	1	80,00
Bureta de 25ml	2	440,00
Porta bureta	1	350,00
Piceta	2	50,00
Cepillo	2	24,00
Varilla de vidrio	2	20,00

Espátula	2	50,00
Propipeta	2	160,00
Mortero de porcelana	2	800,00
Frascos ámbar de 10ml	10	300,00
Manguerilla conector de 6m	1	132,00
Soporte universal grande	1	180,00
Soporte universal mediano	6	900,00
Hornilla eléctrica	2	50,00
Termómetro digital de -50°C a 250°C	1	400,00
Baño termostatzado digital	1	10500,00
Secador automático	1	20000,00
Balanza analítica de 250gr	1	17500,00
Romana digital de 25Kg	1	200,00
Rectificador de aceite esencial	1	8000,00
Bomba de vacío	1	17500,00
Espectrofotómetro UV/VIS	1	49000,00
Cromatografo de gases	1	196000,00
Micropipeta de 10ml a 100ml	1	2128,00
Micropipeta de 100ml a 1000ml	1	2128,00
Refractómetro de mesa	1	13911,00
Polarímetro de disco	1	13911,00
<b>Total Material de Laboratorio y Equipos instrumentales</b>		<b>367642,00</b>

**Cuadro 83. Insumos**

<b>Detalle de insumos para tres meses de trabajo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio (En Bs)</b>
Sulfato de magnesio anhidro	1Kg	350,00
Salmuera	1/2Kg	200,00
Potasa caustica p. a.	50g	15,00
Ácido muriático p. a.	50ml	14,00
Biftalato de potasio p. a.	10g	13,00
Carbonato de sodio p. a.	20g	5,00
Naranja de metilo	1g	4,00
Fenoltaleína	1g	4,00
Dicromato de potasio	20g	9,00
Verde de bromocresol	0,5g	23,00
Rojo de fenol	0,5g	23,00
Alcohol etílico de 95%	2 L	20,00
Éter di etílico p. a.	50ml	20,00
n-hexano p. a.	100ml	35,00
Acetato de etilo	50ml	10,00
Xileno	50ml	85,00
Dioxano	50ml	40,00
Metanol	50ml	10,00
Benceno	50ml	25,00
Placa cromatografica de capa fina	2placas	300,00
Tips para micropipetas	2bolsas	184,00
Envase de 10ml (vidrio color ámbar)	4000frascos	2800,00
Papel indicador de pH	1caja	100,00
Papel filtro	5hojas	50,00
<b>Total insumos</b>		<b>4289,00</b>

### 5.4.2.- Costo de producción o fabricación

#### Cuadro 84. Costo de producción

Detalle de producción, para tres meses de trabajo	Monto total (En Bs)
Materia prima	15000,00
Materiales	4289,00
Sueldos y salarios	30600,00
Combustible (GLP)	1393,00
Agua potable	367,59
Energía eléctrica	567,78
<b>Costo total de producción</b>	<b>52217,57</b>

### 5.4.3.- Costo unitario

Datos del proceso:

Producto: Aceite Esencial de la *Satureja boliviana*

Volumen de producción: 424,8 milímetros

Periodo de tiempo: 8 horas de trabajo continuo (un jornal)

**a) Volumen de producción, para tres meses de trabajo:**

424,8 ml de aceite \* 90 jornales = 38232 ml de aceite

$$\text{Costo Unitario} = \frac{\text{Costo Total de Producción}}{\text{Volumen de Producción}} = \frac{52217,57 \text{ Bs}}{38232 \text{ ml}} = 1,36581 \text{ Bs/ml}$$

**b) Volumen de producción, por unidad de producto (10 ml) en tres meses de trabajo**

$$\# \text{ productos} = \frac{\text{volumen de producción}}{\text{volumen de envase}} = \frac{38232 \text{ ml}}{10 \text{ ml}} = 3823,20 \text{ Unidades}$$

Costo unitario por unidad de producto:

Costo unitario = 13,6581 Bs/10ml

<b>c) Determinación del precio de venta.</b>	<b>Monto</b>
	<b>(En Bs)</b>
Costo unitario	13,6581
Más:	
Utilidad (193%)	26,3601
	<hr/>
<b>Precio de venta</b>	<b>40,0182</b>

**5.4.4.- Beneficio neto**

Determinación del Beneficio Neto	Monto
	(En Bs.)
Precio de venta	40,02
Menos:	
Comisión (10%)	4,00
	<hr/>
	26,02
Menos:	
Transporte (12%)	4,80
	<hr/>
Neto	31,22
Menos:	
Costo de producción (costo unitario)	13,66
	<hr/>
<b>Beneficio neto</b>	<b>17,56</b>

Beneficio neto por tres meses de trabajo: 67135,39 Bs.

**Cuadro 85. Costos Totales Proyectados**

Detalle de costos totales proyectados, para 3 meses de trabajo	Montos Totales (En Bs)
<b>Costo Fijo</b>	
- Sueldos y salarios	30600,00
<b>Costo Variable</b>	
- Materia prima	15000,00
- Materiales	4289,00
- Agua potable	367,59
- Energía eléctrica	567,78
- Combustible (GLP)	1393,20
	<u>21617,57</u>
<b>Costos totales proyectados</b>	<b>52217,57</b>

**a) Punto de equilibrio**

$$PE = \frac{\text{Costo Fijo}}{1 - \frac{\text{Costo Variable}}{\text{Ingreso por Ventas}}}$$

Nivel de ventas que constituye el punto de equilibrio, según Ramallo, 2005

$$Q = \frac{\text{Costo Fijo}}{\text{Precio de venta} - \text{Costo Variable Unitario}}$$

Donde: Q = Cantidad producida

Ingreso por ventas = Precio de venta X Volumen de producción, (4.4.3), inciso (b)

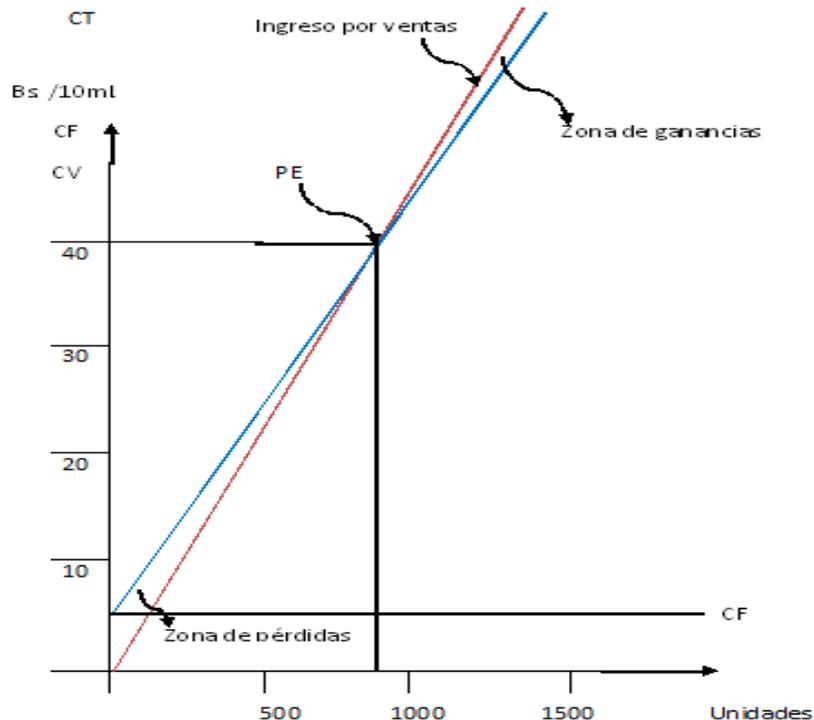
Costo variable unitario = Costo variable / Volumen de producción, (4.4.3), inciso(b)

$$Q = \frac{30600}{40,0182 - 5,6543} = 890,47 \text{ unidades}$$

Por lo tanto:

$$PE = \frac{30600}{1 - \frac{21617,57}{152997,58}} = 35634,99 \text{ Bs.}$$

## b) Representación gráfica



**Figura 32.** Grafica que establece la zona de pérdidas y ganancias.

En la figura 32, se muestran las zonas de pérdidas y ganancias. Los cuales se representan en una gráfica de costos fijos y variables con respecto a la cantidad producida (Q) en unidades. Asimismo, los costos totales proyectados se detallan en el cuadro 93, cuyos valores del costo fijo y variable han sido utilizados en la determinación del nivel de ventas que constituye el punto de equilibrio.

El precio de venta determinado (subtitulo 4.4.3, inciso c) para el aceite crudo de Khoa, es 40 Bs el frasco de 10 ml. El cual se determinó con una utilidad del 193%.

Si comparamos precios, con el aceite refinado de Muña que tiene un precio de 10 \$us, equivalente a 70 Bs el frasco de 10 ml, hay una diferencia de 30 Bs, pero se tiene que tomar en cuenta de que es un aceite esencial refinado, y que pertenece a la misma familia de plantas (Lamiaceae).

En el cuadro 84, se muestra el costo de producción o fabricación, que son costos directamente relacionados con el proceso de fabricación del producto (aceite de Khoa) por un valor de 52217,57 Bs. El cual ha sido calculado para 3 meses de trabajo ó 30 días hábiles (8 horas diarias) trabajados. Así mismo se determinó el beneficio neto (subtitulo 4.4.4) por un valor de 67135,39 Bs. Actualmente se realiza la extracción comercial de aceite esencial de Muña, en Perú y Argentina. Pero en Bolivia, estos emprendimiento aún son inconclusos, otros tienen vías de producción aún no muy visibilizados o son otras las especies de interés, como el aceite esencial de eucalipto. Por lo tanto, queda por trabajar con especies nativas a escala piloto.



## 6.- Conclusiones

Una vez cumplidas las actividades y evaluados los resultados, se han llegado a las siguientes conclusiones.

**6.1.-** Respecto del rendimiento y la caracterización fisicoquímica de los aceites esenciales, obtenidos a nivel laboratorio:

- Se establece que el tiempo aproximado de extracción de aceites esenciales es de 50 a 80 minutos, a partir de 100g de materia vegetal seca. Asimismo, se tiene mayor rendimiento en aceite de khoa (provenientes de Sorata y Ambana) y el menor rendimiento en aceite esencial es de ajeno.
- La densidad relativa a 20°C, de los aceites esenciales son menores a la unidad.
- El residuo de evaporación a 55°C de los aceites esenciales, se encuentran entre 35% y 65%.
- El índice de esteres del aceite de ajeno, proveniente de Ambana, obtenido en laboratorio, es elevado con respecto a los demás aceites esenciales.
- Los puntos de congelación de los aceites esenciales, se encuentran entre -10°C y -20°C.
- La miscibilidad en etanol a 20°C de los aceites esenciales, es determinado con alcohol etílico de 65% y 75%, excepto el aceite de ajeno, que se determinó con etanol de 90%.
- El poder rotatorio o la actividad óptica, del aceite de Khoa, proveniente de Ambana, su valor de ángulo es dextrógiro (+) y del aceite de Ajeno y Muña su valor es levógiro (-).
- El valor CD por espectrofotometría ultravioleta mostró máxima absorbancia a nivel de 230 a 260 nm y en el ajeno entre 330 a 360 nm.
- En la valoración de color correspondió a la escala de 3 a 6 de dicromato de potasio en los aceites de khoa y muña; 19 a 20 en la escala del verde de bromo cresol con el aceite de ajeno.

**6.2.-** De la determinación de la actividad biocida del aceite esencial de Khoa de Ambana sobre pulgones se muestra que el numero de muertos en el control (sin tratamiento) alcanza de cero muertos en la hora cero hasta un máximo de 4 pulgones muertos de 10 a las 36 horas (n=5). Las diluciones menores (1/10, 1/100 y 1/1000) aplicadas de aceite esencial logran en menos tiempo la total mortalidad de los áfidos (8 a 16 horas).

**6.3.-** De la extracción a escala piloto del aceite de khoa:

- Se ha encontrado que es conveniente coleccionar la materia prima de Ambana debido a la presencia vegetativa de la especie khoa. El secado es fundamental y a la sombra, que en el presente caso llegaron con el 0,5% de impurezas. Se logro la instalacion y el funcionamiento del equipo (en colaboracion con la especialidad de Mecánica Industrial) extractor de aceites esenciales a escala piloto capacidad de 100 litros (3er piso Quimica Industrial). Del Balance de materia se muestra que de 8 Kg se obtiene 177ml de aceite esencial de Khoa, que representa 91,8 % de rendimiento comparado con el logrado a escala laboratorio, cuyas propiedades físicas muestran diferencia en 0,0012 unidades y en indice de refracción con diferencia de 0,0054 unidades. El flujo masico fue de 2,08 kg/h de vapor y 0,85kg/hr. El area propuesta para instalacion de la planta piloto es de 67.5 m<sup>2</sup>(Figura 31).

**6.4.-**El costo de producción ó fabricacion del producto (aceite esencial de Khoa, proveniente de Ambana, extraído a escala piloto), es de 52217,57 Bs. El cual ha sido calculado para 3 meses de trabajo a 8 horas diarias. Así mismo, se determinó el beneficio neto por un valor de 67135,39 Bs; con una inversion total del proyecto de 581187, 57 Bs. Estimándose un precio de venta de 10ml/40bs en aceite crudo.

En suma, se ha caracterizado tres aceites esenciales (Muña, khoa, ajeno) a nivel laboratorio, resultado similares las propiedades del aceite de khoa y muña y diferente el aceite de ajeno. Por ser la especie khoa promisorio es más factible realizar la escalada a nivel piloto, a fin de conseguir mayor volumen de aceite esencial, con fines comerciales, en el presente caso como biocida.

## 7.- Recomendaciones

Se debe proponer un proyecto de conservación de las especies nativas y evitar la deforestación, ya que en un futuro podrían ser fuentes de insumos para la producción de productos para el consumo nacional e internacional. También se debe proponer al gobierno el apoyo a la exportación de productos nacionales al exterior, principalmente al mercado europeo, que pueden generar el ingreso de divisas al país, ayudando a la economía nacional y haciendo que la exportación de los productos nacionales sea costosa.

En el proceso de extracción de aceite esencial mediante los métodos de hidrodestilación y destilación por arrastre con vapor se recomienda que los condensados o agua rica en aceite llamada hidrosol sea inyectado de nuevo al equipo por medio de un proceso llamado cobación mejorando así la eficiencia de la extracción.

Debido a que la cantidad de calor a extraer es elevado y pensando en el ahorro energético del proceso se sugiere que para el sistema de refrigeración del condensador se instale una torre de enfriamiento capaz de disipar dicha cantidad de calor y se baja el elevado flujo de refrigerante en el condensador.

## 8.- Bibliografía

ACEITES ESENCIALES - USOS Y RIESGOS. (Portal del nuevo milenio) Sección del pensamiento [www.Netfirms.com](http://www.Netfirms.com) (10 de junio 2010).

ACEITE DE MUÑA: PROPIEDADES. <http://www.inkanatural.com/es/arti.asp?ref-aceite-muña> (20 de marzo 2011).

AGRUCO - COMPAS, 2007. Experiencias en la implementación de proyectos de producción orgánica de hortalizas. Estudio de casos en comunidades rurales de cabecera de valle del Municipio de Sipe sipe del departamento de Cochabamba, Bolivia. Plural editores.

AGUA SUSTENTABLE. 2008. Caracterización florístico-estructural de los pisos de vegetación de la Cuenca de Choque Cota, Valle de Palca, La Paz. Informe DL-AT/AS-02 de Larrea, Alcazar.

ALBALADEJO MEROÑO, QUERUBINA. El aceite esencial de limón producido en España. Contribución a su evaluación por organismos internacionales. Departamento de tecnología de los alimentos nutrición y bromatología. Facultad de Veterinaria. Universidad de Murcia. España, 1999.

ALBARRACÍN MONTOYA, GLORIA C. y GALLO PALMA, SONIA G. Comparación de dos métodos de extracción de aceite esencial utilizando *piperaduncum* (cordoncillo) procedente de la zona cafetera. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales, diciembre de 2003.

ARTEMISIA ABSINTHIUM (Wiki pedía). Categorías: Artemisia/Plantas medicinales, Obtenido de [http://es.wikipedia.org/wiki/Artemisia\\_absinthium](http://es.wikipedia.org/wiki/Artemisia_absinthium) (2 de marzo 2011).

AZAÑA ESPINOZA ISAAC LITO. 2010. Efectividad antibacteriana *in vitro* del aceite esencial de *minthostachys mollis griseb* (muña) sobre bacterias prevalentes en patologías periapicales crónicas de origen endodóntico". Tesis para obtener el título de cirujano dentista. Facultad de Odontología. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

BASCOPEMARCELO, STERNEROLOV. 2007. Phytochemical research of plants used by the association of traditional medicine at apillapampa. Rev. Bol. Quim v.24 n.1 La Paz 2007. ISSN 0250-5460 *versión impresa*.

BREWSTER, RAY Q. Curso práctico de química orgánica. Primera edición. Madrid: Alhambra, 1970.

CANO MORALES, TELMA MARICELA. Obtención y caracterización de aceite esencial de 4 plantas medicinales cultivadas a diferentes niveles altitudinales de Guatemala, Noviembre de 2002.

CARHUAPOMA. M, LÓPEZ S, ROQUE M, VELAPATIÑO B, BELL C, WHU D. Actividad antibacteriana del aceite esencial de *minthostachys mollis griseb* "Ruyamuña". ciencia e investigación, 12(2): 83-89, issn 1561-0861.(2009).

CASTILLO, JOSÉ ANTONIO. JORDAN, MIGUEL. 1997. In vitro regeneration of *Minthostachysandina* (brett) Epling - a Bolivian native species with aromatic and medicinal properties. Plant Cell, Tissue and Organ Culture.05-1997, Volume 49, Issue 2, pp 157-160.

CERPA CHÁVEZ, MANUEL GUILLERMO. Hidrodestilación de Aceites Esenciales: Moldeado y Caracterización. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. Facultad de Ciencias. Valladolid, Abril 2007.

COLLURA, ANTONIO MARIO. Variaciones del rendimiento y composición química de las especies aromáticas y medicinales. Boletín SAIPA - Sociedad Argentina para la Investigación de Productos Aromáticos. Volumen IV - N° 10. pág. 6 a 15(1965).

CONTROL DE ÁFIDOS O PULGONES (Información patrocinada por productos para Agricultura) [www.infoAgro.com](http://www.infoAgro.com) (05 de abril 2010).

DÍAS FAJARDO, OLGA LILIANA. Estudio comparativo de la composición química y evaluación de la actividad antioxidante del aceite esencial de *Aloysiatriphylla* (L'Her) Britton, Cultivada en tres regiones de Colombia. Universidad Industrial de Santander. Escuela de Química. Laboratorio de cromatografía, Cenivam Bucaramanga 2007.

DIRECCIÓN DE INTELIGENCIA COMERCIAL E INVERSIONES. Oficina comercial del Ecuador en Nueva York. Perfil de aceites esenciales en Estados Unidos. Abril, 2011.

E.F.K (TIM) DENNY, Field distillation for herbaceous oils. Third Edition, May 2001.

ELDER, H., MONELLA, H., SPEKULJAK, ZVONKO. Aprovechamiento integral de especies vegetales aromáticas y medicinales. Obtención de aceites esenciales. SIT Ingeniería SRL. Santa Fe. p12(2002).

EXTRACTOR DE ACEITES ESENCIALES POR ARRASTRE POR VAPOR. Escala Semi Industrial [figmay@arnet.com.ar](mailto:figmay@arnet.com.ar) (13 de mayo 2011).

FERRADA HERRERA, IANN Y FARÍAS URRUTIA, ANTONIO. Uso de extractos de ajo como repelentes de áfidos (*hemiptera: aphididae*) en un cultivo orgánico de papas. Universidad Católica de Chile (2005).

FIGUEROA SOLÍS, NELSON Y ESTÉVEZ MARTINI, TITO. Propiedades antibacterianas, antimicóticas e insecticidas de aceites esenciales de especies vegetales aromáticas nativas. Vol. IV. La paz-Bolivia, Diciembre de 1995.

GOBIERNO DE BOLIVIA MINISTERIO DE PLANIFICACION DEL DESARROLLO. VICEMINISTERIO DE CIENCIA Y TECNOLOGIA. Subdivisión de Promoción de Inversión y Tecnología. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO INDUSTRIAL. 2007. PLANTAS MEDICINALES EN BOLIVIA ESTADO DE ARTE.

HERNÁNDEZ, NANCY E. , SAAB, OLGA DE , L.R ABDALA AND M.C. DE CASTILLO. 2005. Antibacterial Activity of *Satureja boliviana*. *International Journal of Molecular Medicine and Advance Sciences*. Volume: 1. Issue 1. Page No.: 25-28.

INIA. Uso de la chachacoma (*Senecio graveolens*) y la muña (*Minthostachis setosa*) en el control de la colibacilosis en crías de alpacas. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria. Ministerio de Agricultura. Perú. [http://www.inia.gob.pe/webinia/tecnologia/tecno\\_camelidos/sanidad/8\\_CONTROL/USO\\_CHACHACOMA.htm](http://www.inia.gob.pe/webinia/tecnologia/tecno_camelidos/sanidad/8_CONTROL/USO_CHACHACOMA.htm)

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75007 Aceites esenciales- Determinación del índice de refracción, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75006 Aceites esenciales- Determinación del índice de acidez, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75003 Aceites esenciales- Preparación de muestras de ensayo, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75004 Aceites esenciales-Determinación de la miscibilidad en etanol, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75005 Aceites esenciales-Determinación de la densidad relativa a 20°C, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75008 Aceites esenciales-Determinación del poder rotatorio, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75009 Aceites esenciales-Determinación del punto de congelación, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75010 Aceites esenciales-Determinación del residuo de evaporación, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75012 Aceites esenciales-Determinación del contenido en fenoles, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75013 Aceites esenciales-Determinación del índice de Ester, Agosto 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75015 Aceites esenciales-Determinación del valor CD por espectrofotometría ultravioleta, Diciembre 2005.

INSTITUTO BOLIVIANO DE NORMALIZACIÓN Y CALIDAD, IBNORCA. Norma Boliviana NB 75020 Aceites esenciales-Determinación del color, Noviembre 2006.

INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE RECURSOS BIOLÓGICOS "Alexander Von Humboldt" Estudio del mercado colombiano de aceites esenciales. Biocomercio Sostenible. (*Medio electrónico*). Bogotá, Colombia. 109 pp. (2003).

JIMÉNEZ, OFELIA. Determinación de la Actividad Biocida de cinco plantas del género *Acalypha*. Tesis-Químico farmacéutico. Guatemala 2005.

LAS PLAGAS DEL HOGAR Y EL JARDIN. Universidad de Puerto Rico (Departamento de protección de cultivos) <http://academic.uprm.edu/ofarril> (18 de marzo 2011).

LIZARRAGA, EMILIO. ABDALA, LIDIA (2004).Compuestos Fenólicos Mayoritarios en *Satureja boliviana* (Benth.) Briq. (*Lamiaceae*).Acta Farm. Bonaerense**23** (2): 198-200.

MANRIQUE, KURT K. EGÚSQUIZA, ROLANDO. M u ñ a ( s p . *Minthostachys mollis*). Essential oil, as a natural alternative to control potato sprouting tested under different storage conditions. Symposium. <http://es.scribd.com/doc/45455132/Muna-sp-Minthostachis-mollis-essential-oil-as-a-natural-alternative-to-control-potato-sprouting-tested-under-different-storage-conditions>.

MILLS, ANTHONY F. Transferencia de calor. University of California, Los Angeles. Mc. Graw-Hill/Irwin.1999.

OCÓN GARCÍA, JOAQUÍN Y TOJO BARREIRO, GABRIEL. Problemas de IngenieríaQuímica. Tomo I y Tomo II. Santiago 1970.

PAZ, M., ARRAIZA. Aceites Esenciales: Tema 7. .Uso Industrial de Plantas Aromáticas y Medicinales (medio electrónico), (2009).

PROPIEDADES MEDICINALES DE LA MUÑA MUÑA. (Publicación de medicina natural) <http://gonzaloantinwo.wordpress.com> (13 de junio 2010).

PULGON EN LAS PLANTAS – PLAGA O ATAQUE DE PULGONES, ÁFIDOS. (Boletín de infojardin) <http://articulos.infojardin.com> (18 de marzo 2011).

RAMALLO CÁCERES, ALFREDO. Preparación, Evaluación y Administración de Proyectos de inversión. Latinas Editores. Oruro-Bolivia 2005.

RAP-AL. Red de acción en plaguicidas y sus alternativas para América Latina. (Plaguicidas).[http://www.rapal.org/index.php?seccion=4&f=clasificacion\\_plaguicidas.php](http://www.rapal.org/index.php?seccion=4&f=clasificacion_plaguicidas.php) (2003).

REKLAITIS G. V. Y SCHNEIDER R. DANIEL. Balance de materia y energía. México. Escuela de Ingeniería Química Perdue University West Lafayette, Indiana 1990.

RUIZ SM.(1993). Efecto antihelmíntico del aceite volátil de *Artemisia absinthium* L.sobre *Ascaris limbricoidesvarsuum*. Tesis Bach. Farmacia Universidad Nacional de Trujillo – Perú.

SANCHEZ, CASTELLANOS, FRANCISCO.Extracción de aceites esenciales, experiencia colombiana. Químico. Ing. Químico; M.Sc. Dr.Sc. Profesor Procesos Químicos. Departamento de Ingeniería Química. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C. II Segundo Congreso Internacional De Plantas Medicinales y Aromáticas. Palmira-Colombia, octubre 19, 20 y 21. (2006).

SCANDALIARIS MELINA, FUENTES E., LOVEY R. J. 2007. Dos especies de Lamiáceas comercializadas en Córdoba (Argentina) bajo el nombre de "Peperina". Multequina [revista en la Internet]. Jun [citado 2012 Oct 23]; 16(1): 73-81. Disponible en:[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S18527329200700010004&lng=es](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S18527329200700010004&lng=es).

SCHMIDT-LEBUHN, ALEXANDER. Usos y aceites esenciales de *Minthostachys* (Lamiaceae). (Version electrónica). Etnobotanica. Institute of Systematic Botany, University of Zurich, Switsdland. Mem.New York Bot. Gard 98.(2008).

SILVA AGUAYO, GONZALO. Que es y cómo se calcula la DL50 en insecticidas. (Versión electrónica). Universidad de Concepción. Chile, 2004.

SUÁREZ PEÑARANDA DIEGO FERNANDO ; FERNÁNDEZ ALONSO JOSÉ LUIS ; MELGAREJO LUZ MARINA. EFFECT OF LIGHT AND GIBERELIC ACID (AG3) ON THE GERMINATION OF MINTHOSTACHYS MOLLIS (LABIATAE). Acta Biológica Colombiana. <http://www.revista.unal.edu.co/index.php/actabiol/article/view/15530>

URRUNAGA SORIA ROSA. URRUNAGA SORIAEMMA. ACURIO USCALOURDES (3). Investigación de la *Satureja boliviana*, planta medicinal andina. SITUA, Año 3 Nº5. (1995).

VELASCO NEGUERUELA, ARTURO. ESENARRO ABARCA, GRACIELA. PÉREZ ALONSO MARIA JOSÉ y JOAQUÍN L. ESTEBAN . 1994. Essential Oil of *Satureja boliviana* Briq. from Peru. Journal of Essential Oil Research. Volume 6, Issue 6, pages 641-642.

VITURRO, CARMEN I. MOLINA, ANA GUY ISABELLE. BRIGITTE CHARLES. GUINAUDEAU. HELENE AND FOURNET, ALAIN. 2000. Essential oils of *Satureja boliviana* and *S. parvifolia* growing in the region of Jujuy, Argentina. Flavour Frugr. J. 15 377-382.

VITURRO, CARMEN I; ANA C. MOLINA; CECILIA HEIT, MIGUEL A. ELECHOSA; ANA M. MOLINA Y MIGUEL A. JUÁREZ. (2007). 54-EVALUACIÓN DE LA COMPOSICIÓN DE LOS ACEITES ESENCIALES DE *Satureja boliviana*, *S. odorata* y *S. parvifolia*, OBTENIDOS DE COLECTAS EN TUCUMÁN, ARGENTINA. IX Simposio Argentino y XII Simposio Latinoamericano de Farmacobotánica Sección Farmacognosia y Fitoquímica. Bol. Latinoam. Caribe Plant. Med. Aromaticas Vol. 6 (5).

ZAMBRANA, E. Y HINOJOSA, N. Desarrollo de una industria nacional de aceites esenciales. Programa agroquímico. Facultad de ciencias y Tecnología, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba-Bolivia 2005.

ZARDINI, ELSA. 1984. Etnobotánica de Compuestas Argentinas con Especial Referencia a su Uso Farmacológico (Primera Parte). Acta Fam, Bonaerense 3 (1):77-99.

## 9.- Anexos

### Anexo 1



Preparación y determinación del contenido en fenoles de los aceites esenciales

## Anexo 2

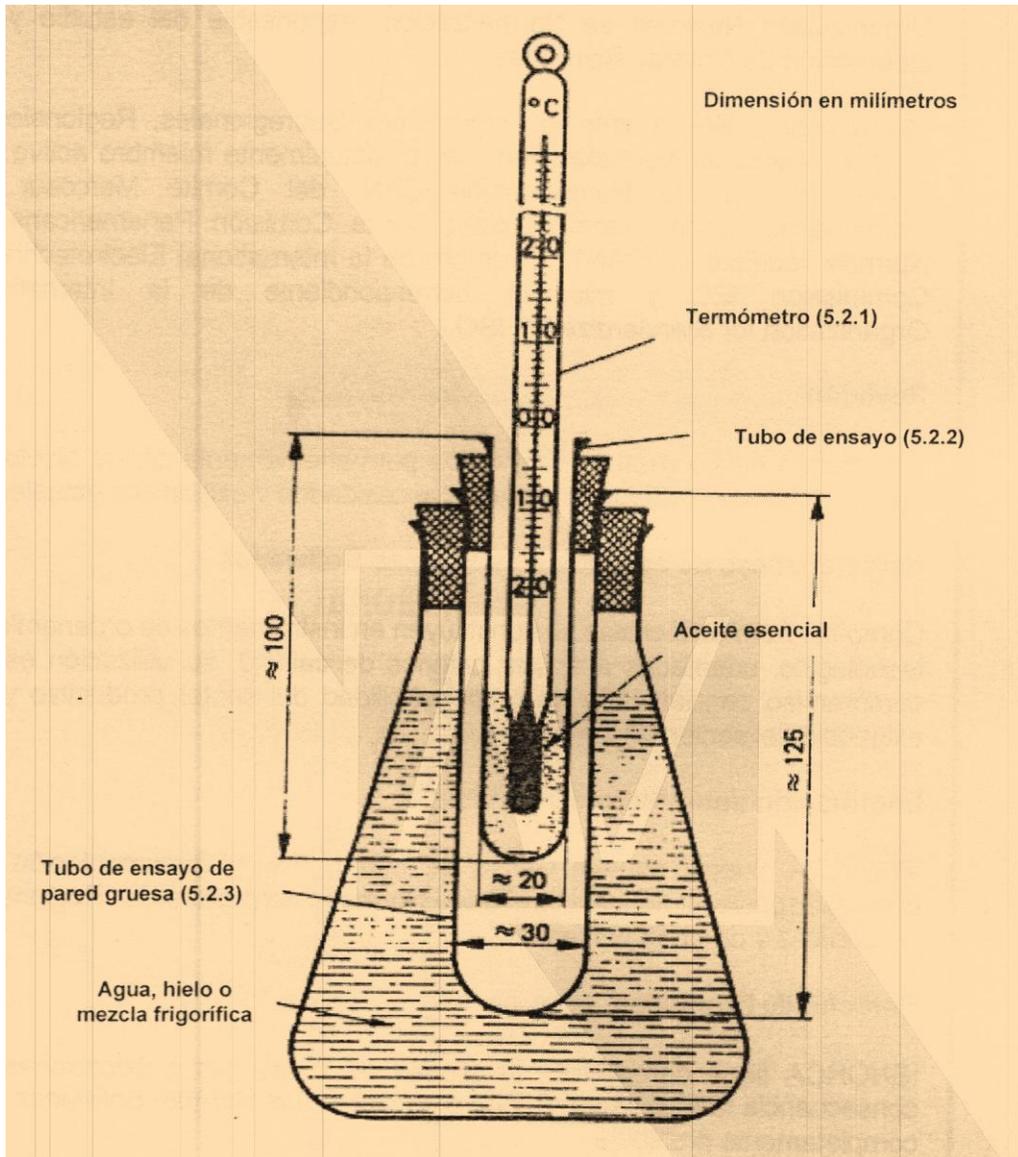


Recuento de áfidos con y sin vida, expuestos al aceite de Khoa, respecto al tiempo



Exposición de los áfidos, expuesto al aceite de Khoa de diferentes concentraciones

Anexo 3



Dispositivo para la determinación del punto de congelación, según NB 75009

### Anexo 4



Colecta, transporte y preparación de la materia prima (*Satureja boliviana*)

### Anexo 5



Vista interna del extractor de aceites esenciales y vista externa del condensado

Anexo 6

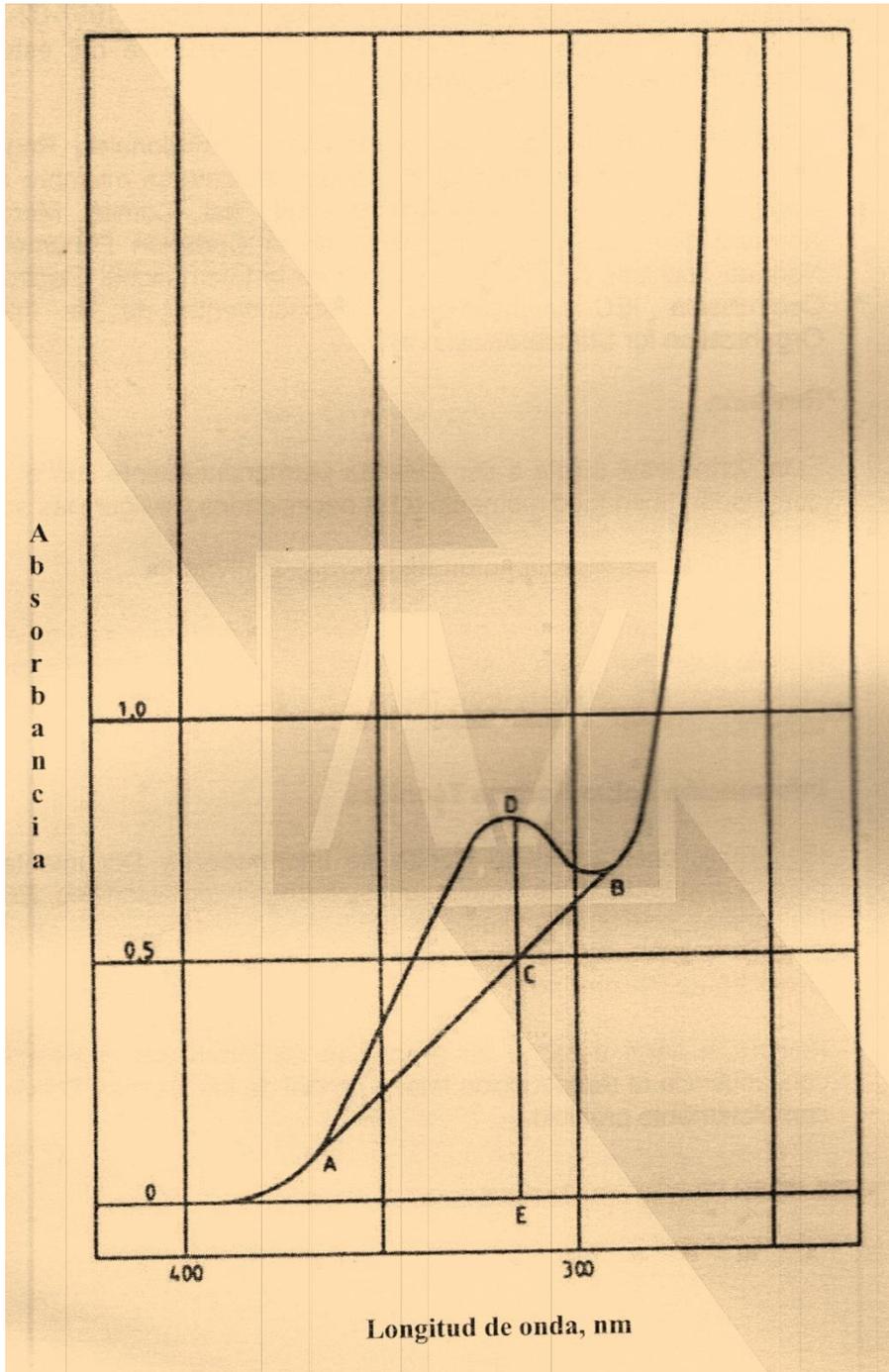
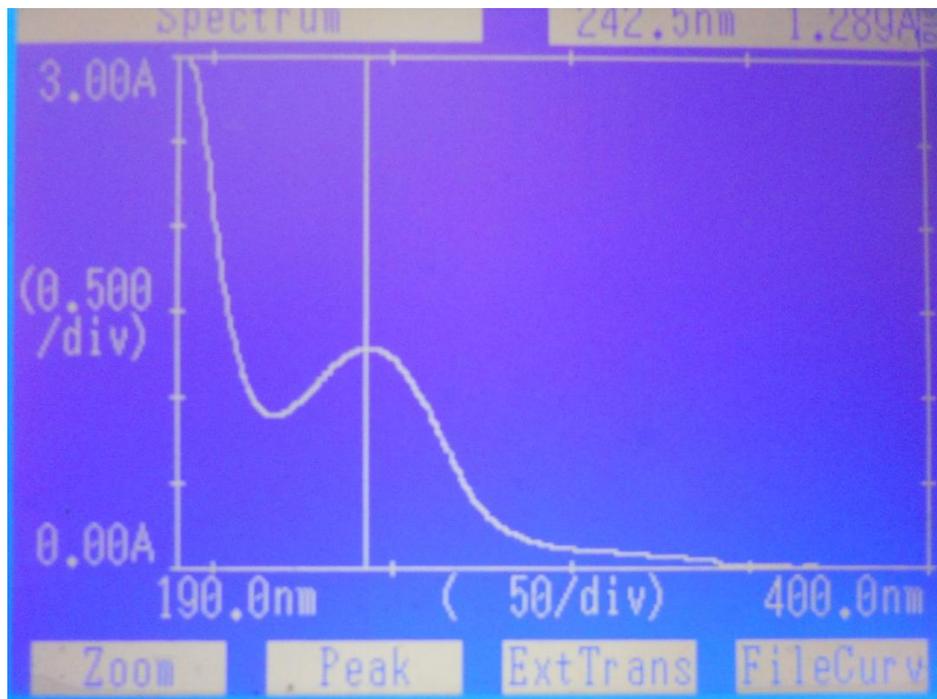
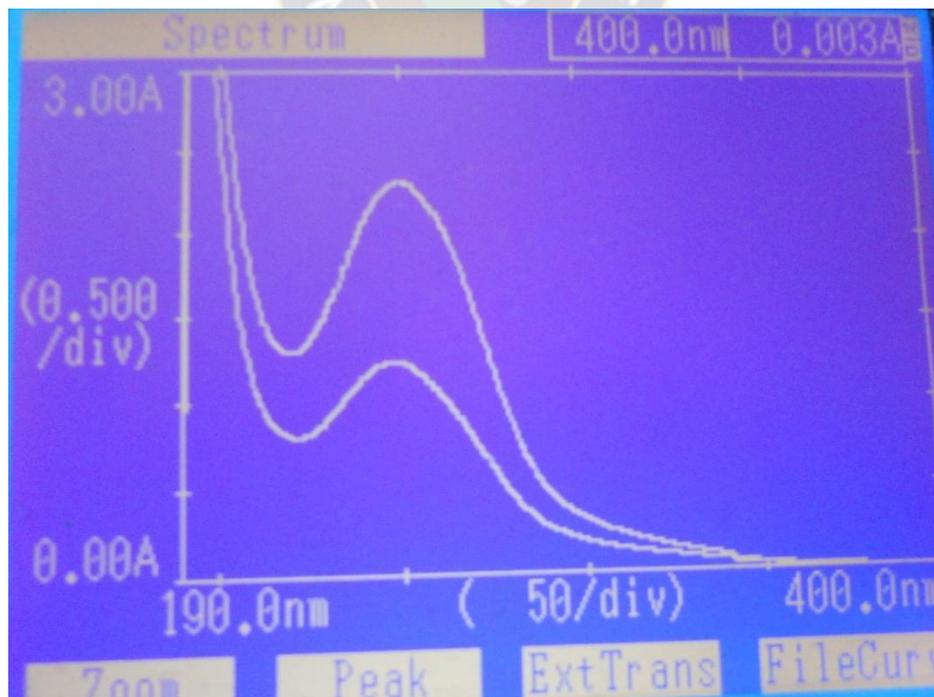


Diagrama tipo de curva de absorbancia, según NB 75015

## Anexo 7



Curva de absorbancia del alcohol etílico en el espectrofotómetro

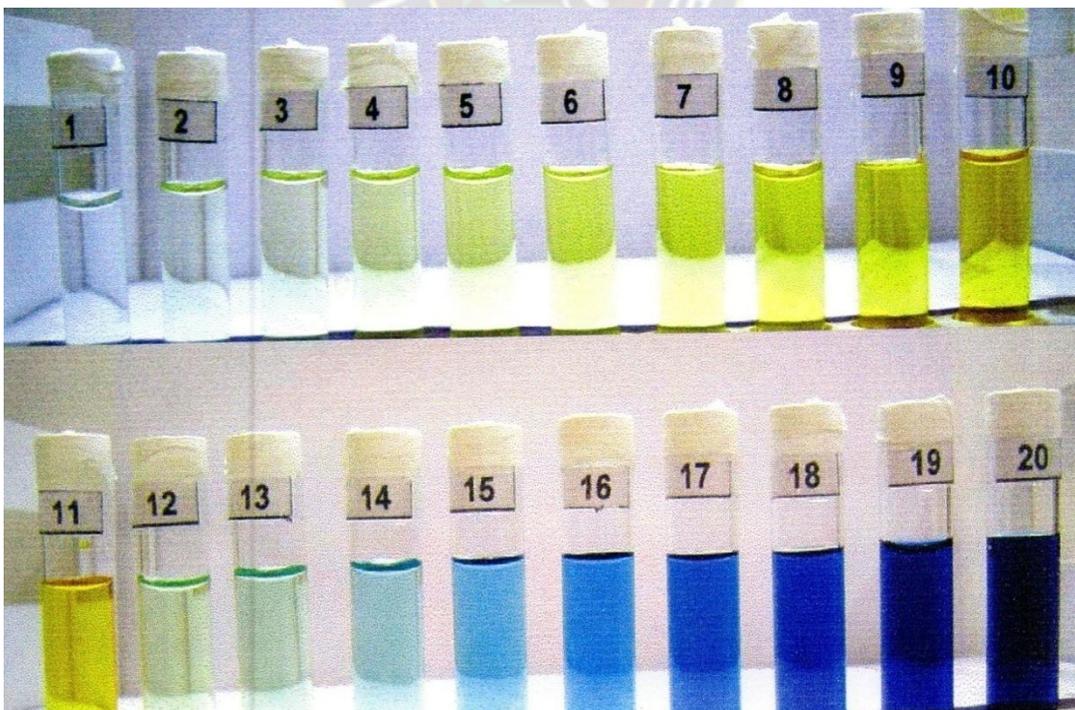


Curva de absorbancia del etanol y el aceite esencial en el espectrofotómetro

### Anexo 8



Soluciones de colores patrones para la determinación del color



Escala de colores para la comparación visual con los aceites esenciales

### Anexo 9



Equipos de destilación por arrastre con vapor de agua a nivel laboratorio

**Anexo 10**



a) Imagen del Refractómetro de mesa, que se ha utilizado



b) Imagen del Polarímetro de disco, que se ha utilizado

## Anexo 11

## Preparación de mezclas hidroalcohólicas, según NB 75004

Dilución: Mililitros de etanolen 100 ml $\pm$ 0,1 ml de mezcla	Volumen de agua destilada a la temperatura de 20 °C a añadir a 100 ml de etanol a 95% (V/V) a la misma temperatura $\pm$ 0,1 °C para preparar las correspondientes diluciones	Masa de etanol al 95% (V/V)	Masa de agua a añadir	Limites de densidad relativa y del peso especifico del aire	
				$d_{20}^{20}$	$\rho_{20}$
% (V/V)	ml	g	g		g/ml
50	95,8	45,9	54,1	0,9316 a 0,9320	0,9300 a 0,9303
55	77,9	51,1	48,9	0,9214 a 0,9218	0,9214 a 0,9202
60	62,9	56,4	43,6	0,9105 a 0,9119	0,9089 a 0,9093
65	50,2	61,8	38,2	0,8990 a 0,8995	0,8974 a 0,8979
70	39,1	67,6	32,5	0,8869 a 0,8874	0,8853 a 0,8858
75	29,5	73,4	26,6	0,8740 a 0,8746	0,8725 a 0,8731
80	20,9	78,5	20,5	0,8605 a 0,8611	0,8590 a 0,8596
85	13,3	85,9	14,1	0,8461 a 0,8467	0,8446 a 0,8452
90	6,4	92,7	7,3	0,8363 a 0,8310	0,8288 a 0,8295
95	0,0	100	0	0,8124 a 0,8132	0,8110 a 0,8118

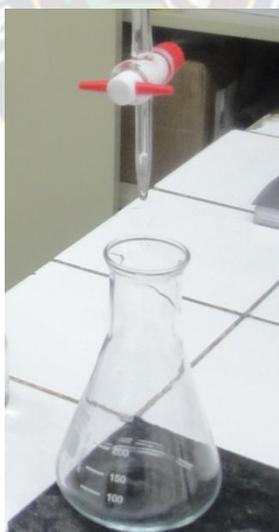


Imagen de la forma de valorar la solubilidad de los aceites esenciales

## Anexo 12

Table 3.2 Transformation of percentages to probits

%	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2.67	2.95	3.12	3.25	3.36	3.45	3.52	3.59	3.66
10	3.72	3.77	3.82	3.87	3.92	3.96	4.01	4.05	4.08	4.12
20	4.16	4.19	4.23	4.26	4.29	4.33	4.36	4.39	4.42	4.45
30	4.48	4.50	4.53	4.56	4.59	4.61	4.64	4.67	4.69	4.72
40	4.75	4.77	4.80	4.82	4.85	4.87	4.90	4.92	4.95	4.97
50	5.00	5.03	5.05	5.08	5.10	5.13	5.15	5.18	5.20	5.23
60	5.25	5.28	5.31	5.33	5.36	5.39	5.41	5.44	5.47	5.50
70	5.52	5.55	5.58	5.61	5.64	5.67	5.71	5.74	5.77	5.81
80	5.84	5.88	5.92	5.95	5.99	6.04	6.08	6.13	6.18	6.23
90	6.28	6.34	6.41	6.48	6.55	6.64	6.75	6.88	7.05	7.33
—	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
99	7.33	7.37	7.41	7.46	7.51	7.58	7.65	7.75	7.88	8.09

a) Tabla de transformación de porcentajes probits (*Probability unit*)



b) Imagen de la Localidad de Ambana, de donde proviene la materia prima (Khoa), para la obtención de aceite de Khoa a escala piloto.