

CAPÍTULO I
INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

1.1.1. Generalidades

Todas las especies del género *Amaranthus* que son utilizadas para la producción de grano son originarias de América. Las evidencias arqueológicas encontradas confirman esto, ya que los habitantes de este continente utilizaron las hojas y semillas de este género desde la época Prehistórica, mucho antes del proceso de domesticación de estas especies. Las excavaciones realizadas por Mac Neish en 1964 indican que los indígenas ya cultivaban estas plantas durante la fase Coxcatlán (5 200 a 3 400 a. C.), lo cual quiere decir que la domesticación del amaranto tuvo lugar en la misma época que la del maíz. (Mapes, 2015)

De acuerdo con diversos autores, el cultivo del grano de amaranto en América data desde hace más de 7 000 años, iniciado por las culturas precolombinas y posteriormente difundido a otras partes del mundo. La fase inicial del cultivo de amaranto, está ligada al desarrollo de la agricultura y los logros que consiguieron los habitantes del Tahuantinsuyo, los incas, y los aztecas.

Los aztecas en el valle de México y los mayas en Guatemala, cultivaban y utilizaban el amaranto junto al maíz, frijol y calabaza en el valle de México, y Guatemala; mientras que en Sudamérica tanto en Perú, Bolivia como Ecuador el amaranto se cultivó junto a la papa, maíz y quinua. (Calderón, S. 2017).

La palabra Amaranto significa vida eterna; debido a que crece en tierra poco fértil y con una mínima cantidad de agua también porque una sola planta puede producir cerca de un millón de semillas, sin ser gramíneas, pueden conservar sus propiedades por más de 40 años. (Calderón, S. 2017).

Actualmente los investigadores sugieren que, por su amplia adaptación, fácil cultivo, buen rendimiento y utilidad, debe impulsarse su producción, y comercialización como producto acabado.

1.1.2. Aspectos Fundamentales del Producto: Aceite de Amaranto

Es el aceite que resulta de la extracción de la parte grasa de las semillas de la planta de Amaranto.

Debido al gran contenido de tocoferoles, tecotrienoles, escualeno y propiedades antioxidantes, el principal uso del Aceite de Amaranto, se desarrolla en el rubro de la industria cosmética y farmacéutica.

Un gran número de los componentes del aceite de amaranto se han utilizado para el cuidado de la salud de la piel, o en cosméticos, lo cual amplía el campo de aplicación del aceite de amaranto además de su aplicación en alimentos funcionales. (Gonzales, C. 2012)

Además cabe recalcar que uno de los beneficios del amaranto especialmente útil para las enfermedades crónicas donde se presentan procesos inflamatorios, como la diabetes, daño al corazón y los infartos. Actualmente el aceite de amaranto es utilizado principalmente en la industria cosmética para la producción de cremas, y ungüentos, por otro lado en cuanto al rubro medicinal el aceite de amaranto sigue siendo objeto de estudio, debidos a sus propiedades. (INFAC Activos Botánicos y Químicos para la Industria, 2017)

1.1.2.1. Aspectos del Mercado

Los Principales Proveedores de Aceite de Amaranto, se encuentran en el país de México, mismos entre los que se destacan, Técnico Distribuidor INFAC, Glicerinas Industriales GLINSA, Industrias NUTRAFRUT. El aceite de Amaranto no se industrializa de manera masiva, por lo que el producto tiene un precio elevado en el mercado.

El precio del aceite de amaranto al por menor oscila entre los 150 a 200 € (1170 a 150 Bs aproximadamente), el litro, se comercializa además en envases de 100 ml.

- **Oferta**

El mercado de los aceites vegetales, en el mundo, ha tenido un descenso en comparación al del año 2017. Según estudios realizados de datos del TRADE MAP

(Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas, Datos comerciales mensuales, trimestrales y anuales. Valores de importación y exportación, volúmenes, tasas de crecimiento, cuotas de mercado, etc.), se establece que las exportaciones mundiales de aceites vegetales en el 2017 alcanzaron un valor de 4 363 385 \$us, mientras que para el año 2018 los valores de exportaciones mundiales alcanzan 4 065 655 \$us, como se muestra en la Tabla I- 1.

Se puede observar que los principales países exportadores de aceites esenciales son: India con un ingreso total de 898 965 \$us, seguido de Estados Unidos con 486 887 \$us y Países Bajos con 216 135 \$us.

Tabla I- 1 Principales Países en el mundo, exportadores de aceites vegetales para usos diferentes al rubro alimenticio, Valor exportado en miles de dólares (Miles de \$us)

Exportadores	Valor exportado en 2014	Valor exportado en 2015	Valor exportado en 2016	Valor exportado en 2017	Valor exportado en 2018
Mundo	3 751 645	4 000 151	3834 203	4 363 385	4 065 655
India	692 005	734 062	640 955	956 293	898 965
Estados Unidos	582 967	642 427	620 610	678 324	486 887
Países Bajos	159 290	161 542	208 460	203 100	216 135
México	73 847	84 331	113 260	123 668	182 829
Francia	165 515	165 752	175 054	179 855	175 062
Italia	238 714	192 580	167 371	162 042	161 560
Bélgica	178 517	164 168	151 635	153 796	158 658
España	73 226	63 416	97 627	145 603	151 228
Alemania	128 267	136 174	136 254	148 995	149 549
Dinamarca	128 649	116 015	114 877	121 760	136 847
China	95 888	116 999	104 037	107 686	131 549
Ghana			11 183	69 431	90 095
Turquía	42 794	52 529	85 038	59 037	69 089
Tailandia	83 902	78 003	61 889	64 776	68 058
Japón	56 452	54 941	61 322	64 983	64 969
Filipinas	1 062	373	441	70 455	59 380
Reino Unido	59 844	53 381	55 601	53 409	59 083
Canadá	41 863	42 440	52 275	52 552	56 972
Malasia	29 806	72 753	63 434	48 474	48 105
Marruecos	25 589	35 189	51 980	45 424	46 858
Austria	43 087	38 074	39 868	40 213	41 134
Suecia	20 631	18 956	24 926	35 660	37 853



Brasil	14 845	46 151	49 276	49 240	37 171
Egipto	46 655	43 899	68 993	63 980	32 428
Singapur	30 492	25 958	27 898	28 076	30 190
Corea,	20 299	36 583	35 855	39 807	30 139
Taipei Chino	33 957	26 528	24 131	23 417	26 139
Togo	3 982	3 443	5 083	3 825	23 586
Rusia	6 627	10 911	36 761	25 940	23.353
Hungría	28 343	22 040	29 749	30 459	23 121
Israel	20 352	19 787	19 282	23 728	22 587
Argentina	42 674	39 540	39 821	36 722	22 430
Burkina Faso	12 534	9 138	11 054	12 928	22 298
Arabia Saudita	87 675	81 857	74 429	60 440	22 237
Portugal	14 832	12 906	12 714	18 151	20 963
Kazajstán	171	1 963	8 347	14 125	16 911
Polonia	3 253	5 402	4 471	9 514	15 114
Panamá	88	168	51	2 164	14 845
Kenya	6 376	7 656	7 943	9 036	13 848
Nigeria	6 066	12 806	70	66	13 255
Australia	4 614	4 728	7 363	6 901	13 054
Chile	12 639	10 691	15 195	12 469	10 979
Nueva Zelandia	6 154	7 836	6 382	7 826	10 487
Ucrania	16 273	11 625	12 778	17 648	9 740
Líbano	1 310	774	516	700	9 379
Paraguay	8 036	5 915	6 740	8 663	9 081
Viet Nam	19 719	17 651	10 478	8 261	9 065
Hong Kong, China	7 114	7 874	8 636	7 815	7 709
Finlandia	4 000	4 191	4 565	4 958	7 142
Indonesia	1 451	2 101	2 601	6 845	6 946
Perú	16 760	12 677	5 092	6 025	6 581
Sudáfrica	9 699	7 635	9 487	8 617	5 995
República Checa	3 213	3 112	4 191	5 689	5 196
Bangladesh		10 883	5 120	4 481	4 312
Eslovenia	1 926	1 672	2 324	3 627	4 077
Suiza	4 830	3 707	4 202	3 141	3 618
Lituania	2 056	1 193	1 809	2 871	2 752
Benín	25	1 952	8 213	4 925	2 599
Emiratos Árabes Unidos	58 927	43 562	77 549	64 902	2 402
Georgia	1 252	1 636	2 490	3 373	2 097
Irlanda	1 227	955	1 108	4 100	1974

Omán	50 565	48 658	42 047	41 988	1 662
Jordania	1 442	606	5 117	790	1 444
Eslovaquia	1 066	1 010	2 827	1 062	1 330
Rumanía	1 017	872	900	905	1 329
Ecuador	729	698	532	879	1 285
Letonia	3 024	364	409	908	1 183
Namibia	1 651	1 960	1 219	612	1 122
Grecia	2 614	2 639	3 246	2 098	1 120
Belarús	219	199	322	406	1 101
Túnez	22 345	13 345	34 225	44 799	1 072
Azerbaiyán	36 528	24 775	769	875	1 014
Guatemala	2 060	923	1 071	794	1 006
Croacia	583	833	822	632	914
Bulgaria	821	388	455	580	834
Colombia	1 067	975	961	788	832
Sri Lanka	149	146	143	213	693
Estonia	1 049	767	252	484	691
Rep. Árabe Siria	56	149	52	99	650
Moldava,	722	387	791	436	628
Serbia	392	267	374	311	544
Pakistán	644	1 038	433	471	533
Lao	0	3	138	180	525
Uganda	909	546	286	507	518
Senegal	344	237	291	350	515
Luxemburgo	151	116	107	227	497
Chipre	139	113	179	375	489
Nicaragua	445	505	600	407	470
Uzbekistán	16	1		74	292
Tanzania	15 779	220 152	6 194	416	223
Costa Rica	34	43	77	98	210
Uruguay	0	108	5	125	199
Sudán		559		129	195
Rep. Dominicana	28 325	14 213	14 991	15 090	178
El Salvador	10	354	294	209	176
Nepal	855	584	703	151	174
Vanuatu	263	86	26	158	167
Madagascar	184	224	218	301	163
Mongolia	9	6	40	69	160
Myanmar	633	430	444	98	147
Palestina	2 046	1 948	1 831	223	135
Ruanda	296	630	1 485	224	132

Curasao	66	2	182	334	131
Bosnia	28	19	16	60	129
Jamaica	260	242	173	184	115
Afganistán	271	0	0	46	112
Zimbabue	53	9	24	24	99
Fiji	47	33	58	39	90
Polinesia	58	107	61	113	72
Haití	9	146	2	38	63
Somalia	83	59	227	59	56
Zambia	0	11	342	35	54
Burundi	0	0	0	0	53
Botsuana	0	1	26	33	52
Irán	76	1 898	2 722	2 625	48
Mozambique	0	2	0	0	46
Venezuela	9	16	4	19	43
Bolivia, Estado Plurinacional	0	2	3	62	41
Argelia	27	10	16	20	36
Noruega	110	139	254	213	36
Iraq	0	56	16	24	30
Etiopía	0	0	0	32	27
Malí			17	74	22
Trinidad y Tobago	18	15	6	13	22
Sahara occidental		3	19	13	20
Dominica	8	5		17	18
Armenia	2	28	1	40	18
Tayikistán	5	8	17	19	15
Malawi	685	326	102	25	12
Macao, China	10	0	0		10
Guinea	46	23	16	50	9
Gambia	684	233	5 758	14	8
Zona franca	25	3	48		8
Mauricio	6	4	682	45	4
Sierra Leona	0	0	13	11	2
Guyana	4	3	9	2	2
Barbados	2	2	58	25	1

Fuente: (ITC, TRADE MAP, 2019)

Tabla I- 2 Principales Aceites con Destino a uso Cosmético – Medicinal

Principales Aceites con destino a uso Cosmético - Medicinal	Descripción
<p data-bbox="315 457 506 485">Aceite de Argán</p> 	<p data-bbox="745 407 1396 541">El aceite de Argán está constituido por un alto porcentaje de ácidos grasos (80%) y tocoferoles (Vitamina E), además beta-carotenoides, escualeno y fitosteroles.</p> <p data-bbox="745 554 1396 835">Es un aceite que penetra fácilmente y su rápida absorción está indicada en pieles grasas, para pieles con marcas y para pieles envejecidas, ya que estimula el crecimiento celular y tiene por ello una gran capacidad para regenerar la piel. Los antioxidantes que posee ayudan al tratamiento del acné y a combatir los radicales libres para retardar la oxidación y degeneración de los tejidos.</p>
<p data-bbox="315 1056 488 1083">Aceite de Acai</p> 	<p data-bbox="745 989 1396 1419">El Acai proveniente de la selva Amazónica que tiene un alto contenido en grasas, y es el aceite con más alto contenido antioxidante, contiene un perfil nutrimental impresionante: la combinación de Omega 3, Omega 6 y Omega 9, además posee vitaminas como la B1, B2, B3, E y C, y minerales como Fósforo, Calcio y Potasio para rejuvenecer y revitalizar la piel; cuenta con propiedades hidratantes, antioxidantes, antiinflamatorias y antibacteriales, protegen a la piel de los radicales libres de la formación de células cancerígenas y ayudan a mantener una piel joven.</p>

<p>Aceite de Uva</p> 	<p>El aceite de uva, es un tipo de aceite muy rico en contenido de ácidos grasos insaturados y esenciales, fitoesteroles, fosfolípidos y vitamina E, lo que le confiere un gran poder reparador y protector de la piel.</p> <p>El aceite de semillas de uva es un gran desintoxicante, antiinflamatorio y antibacteriano, se utiliza generalmente para combatir el efecto de los rayos UV, la celulitis, sequedad y deshidratación, posee además un efecto reafirmante, y mejora la circulación sanguínea y la elasticidad de la piel.</p>
<p>Aceite de Germen de Trigo</p> 	<p>Debido a su gran contenido de minerales y vitaminas que contiene (A, B, C y E) es un gran aliado para reducir la flacidez del rostro, hidratarlo y, por lo tanto, prevenir arrugas o, pongamos por caso, para fortalecer las uñas e hidratar el cabello.</p>
<p>Aceite de Rosa Mosqueta</p> 	<p>El aceite de rosa de mosqueta es uno de los aceites regeneradores e hidratantes más potentes para la piel: ayuda a la eliminación de manchas, cicatrices y estrías. Contiene ácidos esenciales como el omega 6, omega 3 y linoleico y antioxidantes y vitaminas como la vitamina A.</p>

Fuente: (Isan A. 2017)

No existen datos específicos de cuantificación para productos como: Aceite a base de Amaranto o Coime, sin embargo de manera general, se refleja en la Tabla Producción Mundial Total de Aceites Vegetales en millones de toneladas.




Tabla I- 3 Producción Mundial Total de Aceites Vegetales por producto (en millones de toneladas)

Tipos de Aceites		2011/12	2012/13	2013/14	2014/15	2015/16	2016/17	2017/18	2011/12 vs 2017/18
1	Aceite de Palma	10,530	10,340	10,990	13,290	9,540	10,670	12,390	17,7%
2	Aceite de soja	4,210	4,170	4,370	4,830	5,250	5,360	5,610	33,3%
3	Aceite de colza	4,760	4,760	5,440	6,350	4,720	3,500	3,340	-29,8%
4	Aceite de girasol	1,920	1,640	1,990	1,950	1,980	2,410	2,340	21,9%
5	Aceite de almendra	0,900	0,870	0,980	1,030	0,780	0,91	1,100	22,2%
6	Aceite de algodón	0,390	0,330	0,320	0,340	0,290	0,300	0,330	-15,4%
7	Aceite de maní	0,250	0,220	0,250	0,230	0,190	0,230	0,230	-8,0%
8	Aceite de maíz	0,320	0,320	0,300	0,320	0,330	0,330	0,340	6,3%
9	Aceite de Oliva	0,830	0,830	0,990	0,610	0,860	0,530	0,470	-43,4%
10	Aceite de Coco	0,420	0,420	0,370	0,420	0,340	0,320	0,420	0,0%
11	Aceite de Sésamo	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,050	0,0%
TOTAL		24,580	23,950	26,050	29,420	24,330	24,610	26,620	8,3%

Fuente: (Invenómica, 2017)

A nivel Mundial, las principales industrias productoras de Aceite de amaranto, se encuentran en el País de México:


Cuadro I-1 Principales Productores de Aceite de Amaranto a Nivel Mundial

Principales Productores de Aceite de Amaranto a nivel Mundial	
<ul style="list-style-type: none"> • Técnico Distribuidor INFAC. 	 <p>Técnico Distribuidor INFAC Activos Botánicos y Químicos para la Industria</p>
<ul style="list-style-type: none"> • Glicerinas Industriales GLINSA. 	 <p>Fabricación y Comercialización de Productos Químicos</p>
<ul style="list-style-type: none"> • LIQUIDS Chemical of México, S.A. 	 <p>Aceites Naturales y Productos de Limpieza Ozonizados</p>

Fuente: (QuimiNet.com, 2017)

Asimismo, en Sud América, la industria chilena:

Cuadro I-2 Principales Productores de Aceite de Amaranto a nivel Latino-Americano

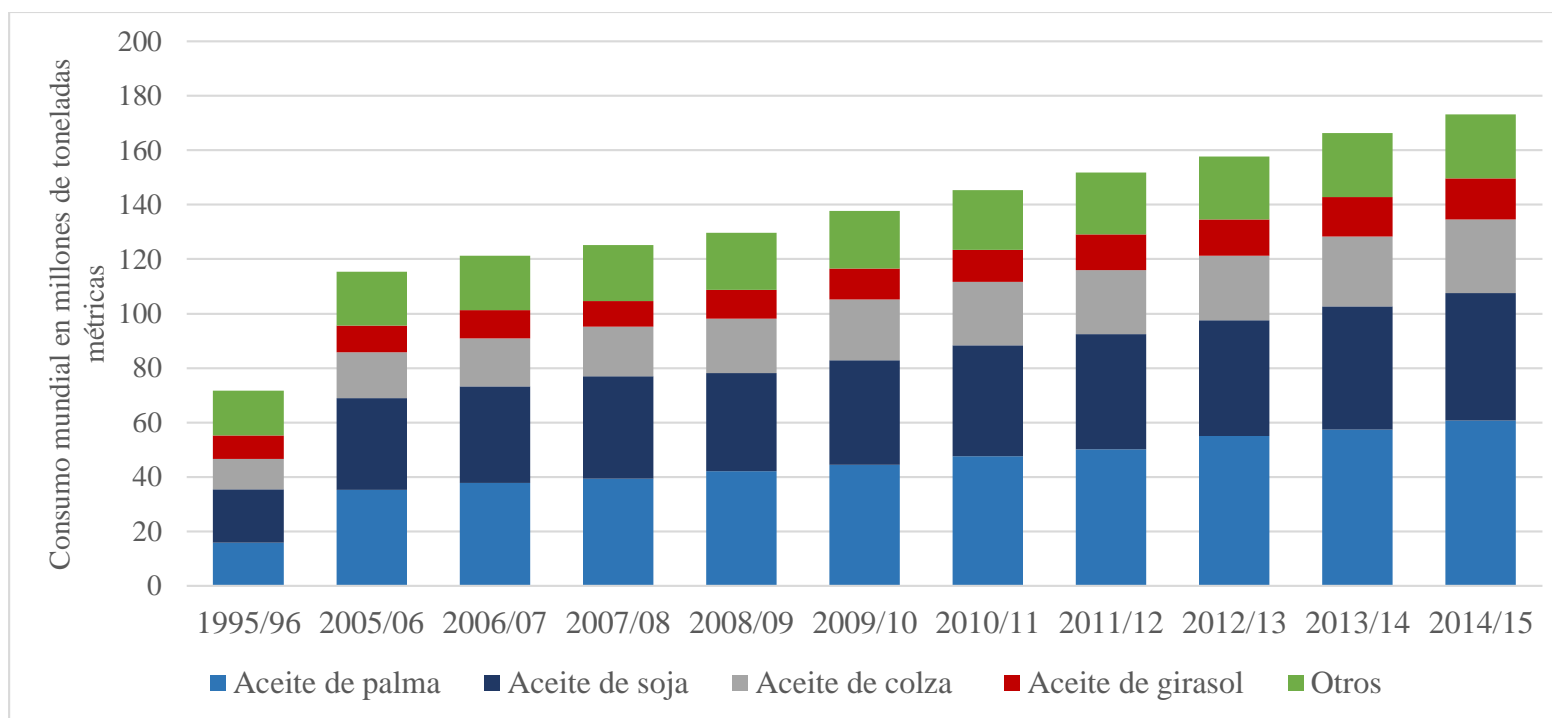
Principales Productores de Aceite de Amaranto a nivel Latino-Americano	
<ul style="list-style-type: none"> • Aceite "Las Cruces". 	 <p>Aceite Las Cruces</p>

Fuente: (QuimiNet.com, 2017)

- **Demanda**

En cuanto a la demanda, actualmente no existen datos específicos para productos como aceite a base de Amaranato o Coime, sin embargo de manera general se presentan, datos sobre el consumo de aceites vegetales de diversos tipos.

Fig. 1- 1 Consumo de aceites vegetales en el Mundo entre 1995/1996 y 2014/2015 por tipo aceite (en millones de toneladas métricas)



Fuente: (STATISTA, 2019)

- **Precios**

Con respecto al mercado de exportación, cabe destacar que el precio del litro de aceite de amaranto al por menor oscila entre 150 a 200 €, (1 170 a 1 560 Bs aproximadamente), hay que mencionar, además que el producto se comercializa también en presentaciones de 100 ml, con un precio oscilante entre 15 a 20 € (117- 156 Bs aproximadamente). (QuimiNet.com, 2017)

- **Distribución**

Los canales de distribución del producto son indirectos.

Se realiza la comercialización de este producto en sus diversas presentaciones, a través de sitios web de compra y venta segura, tales como: eBay, AMAZON y Alibaba.com.

1.1.2.2. Procesos Tecnológicos empleados

Las alternativas metodológicas existentes más comúnmente utilizadas para realizar la obtención de aceite vegetal, son:

- Proceso de Obtención de Aceite a través del método Extracción por Solvente (Método Soxhlet)
- Proceso de Obtención de Aceite a través del método Extracción por Prensado en Frío.

De acuerdo a referencias bibliográficas, el método más utilizado en investigaciones, es el método de Extracción por Solvente, debido a que con este se puede realizar el control de variables importantes tales como: tiempo de extracción, temperatura de extracción, tamaño de la partícula, teniendo el control de dichas variables, los datos pueden ser plasmados para el diseño de plantas piloto, o adaptarse a mayor escala, para procesamiento en industrias aceiteras ya consolidadas.

Dada la naturaleza del Proyecto a desarrollar, una Investigación de carácter Aplicado a escala laboratorio, se ha optado por emplear el Proceso Extracción por Solvente para la Obtención Experimental de Aceite crudo (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija.

1.1.2.3. Producción de Amaranto

- **Producción de Amaranto a nivel Mundial**

El cultivo de Amaranto, se realiza en diversas partes del mundo, tanto el continente americano como en el asiático. El amaranto se encuentra en toda la zona tropical del mundo y en muchas áreas templadas, sobresalientes: Bolivia, Argentina, Ecuador, Perú, México, Guatemala, India, Paquistaní, África, China; de acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), China es actualmente el país donde se cultiva la mayor extensión de amaranto.

- **Producción de Amanto en América**

Entre los principales productores a nivel americano se destaca México, el amaranto se cultiva principalmente en los sectores de Guerrero, Distrito Federal, Michoacán, Oaxaca, Tlaxcala, Puebla, Estado de México, Ciudad de México y Morelos; la superficie sembrada de amaranto en 2012 en México fue de 3 336 hectáreas con una producción de 4 278 toneladas. (Biodiversidad Mexicana, 2013)

Específicamente en América del Sur, en general el cultivo del amaranto o coime, se repliega desde el sur de Ecuador a través de Perú, y Bolivia, hasta el noroeste de Argentina, y su principal productor es el País de Perú, alcanzando un cultivo de 2 000 hectáreas

- **Producción de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) en Bolivia**

Las principales zonas de producción del amaranto en Bolivia son: Cochabamba (provincias Carrasco, Campero, Mizque, Quillacollo, Punata, Arani, E. Arce), Chuquisaca (provincias Yamparaez, Tomina y B. Boeto) y Tarija (provincia Cercado).

La distribución geográfica del amaranto en Bolivia es más reducida en comparación a la quinua y la cañahua, pues según estudios realizados con la colección de germoplasma de Bolivia, la variabilidad de amaranto se distribuye desde los 17° 20' hasta los 21°28' de Latitud Sur, y desde los 64° 13' hasta los 69° 09' de Longitud Oeste. Su distribución altitudinal varía desde 1866 hasta 3050 m.s.n.m. (Rojas, W., Soto, J., Jäger, M., 2010)

En la siguiente tabla se expresan las estimaciones de la Producción, Rendimiento y Superficies de Amaranto por Zonas de Producción Periodo 2013-2014.

Tabla I- 4 Estimación de Producción, Rendimiento y Superficies de Amaranto por Zonas de Producción Periodo 2013-2014.

Departamento	Superficie (ha)	Rendimiento (kg/ha)	Producción (t)
Chuquisaca	589	817	481
La Paz	180	1 104	198
Cochabamba	90	635	51
Tarija	63	726	45
Total	922	3 282	782

Fuente: (Calderón, S. 2017)

Según los datos se pueden observar que la principal zona de producción es Chuquisaca con 481 toneladas, siendo de este el 70% orgánico.

Tabla I- 5 Principales mercados de Bolivia para Amaranto, año 2007.

Países exportadores	Valor (USD)	Volumen (kg)
Estados Unidos	98 563	60 587
Países Bajos	83 010	61 456
Israel	34 635	28 218
Australia	19 620	10 148
Canadá	19 254	12 548
Australia	10 400	8 055
Japón	3 870	3 015
Brasil	2 810	1 874

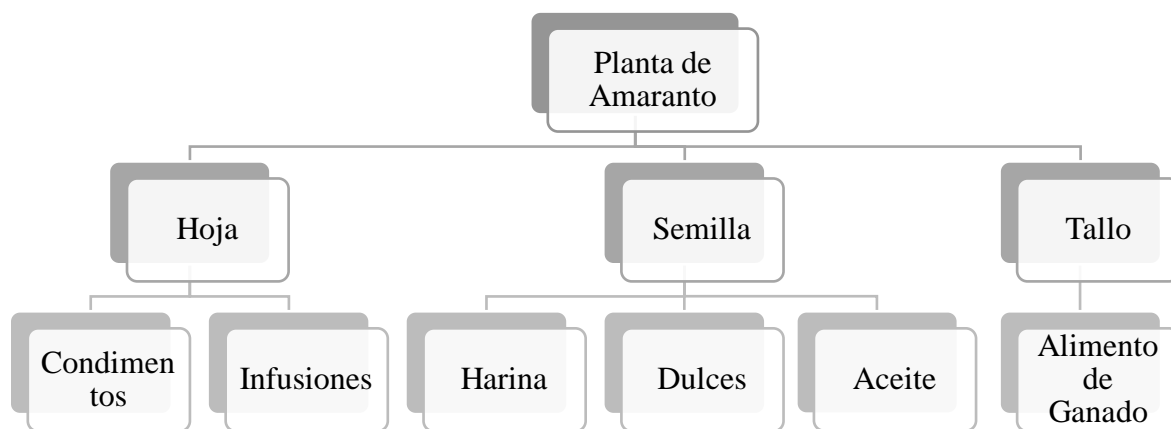
Fuente: Instituto Boliviano de Comercio Exterior (IBCE, 2009)

Como se puede apreciar en la Tabla I - 5, los principales destinos de las exportaciones bolivianas de amaranto o coime, son a Estados Unidos y los Países bajos.

De acuerdo a los datos recabados del Instituto Nacional de Estadística (INE) en la gestión 2008, las exportaciones bolivianas de amaranto a Estados Unidos aumentaron a USD 173 282 equivalentes a 80 363 kilogramos. (IBCE, 2009)

En la actualidad se ha desarrollado diversas maneras para aprovechar las partes de la planta de Amaranto, mismas que se reflejan a continuación en el Cuadro I - 3:

Cuadro I-3 Productos a partir de Amaranto



Fuente: Elaboración propia, en base a datos bibliográficos, 2019

1.1.3. Problema de Desarrollo

Demanda insatisfecha de aceite de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) destinado a usos medicinales y cosméticos en Bolivia.

1.1.3.1. Causas directas

- Desconocimiento de las propiedades del aceite de Coime o Amaranto.
- Escasez de producción de este aceite de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*).
- Materia Prima destinada a otros productos derivados del Amaranto.
- Bajo interés en el desarrollo de las actividades de investigación y desarrollo productivo del aceite de Amaranto en la región por parte de las autoridades competentes.

1.1.3.2. Idea del Proyecto

Contribuir para resolver la demanda insatisfecha de Aceite crudo de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*); a través de la obtención de un producto con un potencial creciente para uso en industria farmacéutica y cosmetológica.

1.1.4. Planteamiento Técnico Propuesto

El presente proyecto tiene como objetivo lograr la obtención experimental de aceite crudo vegetal a partir del Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Obtener experimentalmente aceite crudo de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar la materia prima Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija.
- Fundamentar el proceso experimental para la obtención de aceite crudo de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*).
- Diseñar y ejecutar la fase experimental para el proceso de obtención del aceite crudo vegetal Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*).
- Caracterizar el tipo y calidad del producto obtenido, aceite crudo vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija.
- Determinar el rendimiento experimental del aceite crudo vegetal, obtenido a partir de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija.

1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DEL PROYECTO

En la actualidad Bolivia, debido a las condiciones climatológicas y del suelo que posee, cuenta con las condiciones propicias, para lograr, ampliar la producción de Amaranto

(*Amaranthus Caudatus L.*), asimismo surge la oportunidad de incursionar en la obtención de aceite a partir Amaranto o coime.

Llevando a cabo este trabajo de investigación experimental, como tesista de la carrera de Ingeniería Química, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho UAJMS, se pretende contribuir, de manera óptima, con el aporte de datos reales que sirvan como base para continuar y/o ampliar el campo de estudio de alternativas que brinden un valor agregado al Amamanto (*Amaranthus Caudatus L.*), para la sociedad a la cual nos debemos como institución.

1.3.1. Justificación Económica

La obtención de aceite vegetal de Amaranto otorgará valor agregado a este recurso natural, debido que el costo de 1kg de Amaranto es de 20 Bs, mientras que el de los 100 ml de aceite tiene un precio de 150 Bs aproximadamente, en el mercado de exportación.

De esta manera se generará nuevos ingresos económicos significativos para la cadena productiva que repercutirán de manera directa en los productores primarios, de la misma forma aumentarán los incentivos para la ampliación de las zonas de cultivo de esta planta, logrando así mejorar el estilo y calidad de vida de los pequeños productores, sin afectar sus actividades diarias puesto que cultivar esta planta no requiere de cuidados especiales para su proliferación.

1.3.2. Justificación Tecnológica

La tecnología, requerida para realizar la obtención del aceite de Amaranto, no es complicada.

A través de la investigación se validará un proceso tecnológico con los parámetros y datos necesarios que pueden ser de utilidad para futuros proyectos de instalación de industrias que aprovechen las propiedades del aceite vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*).

1.3.3. Justificación Social

Debido a las propiedades que posee el coime, su aprovechamiento puede dirigirse hacia fines medicinales, cosmetológicos e incluso alimenticios, otorgarle un valor a la producción de amaranto y desarrollar canales de comercialización, es una buena iniciativa para lograr un mayor desarrollo productivo a nivel regional de los pequeños y medianos productores y que puedan mejorar la competitividad de sus productos.

1.3.4. Justificación Ambiental

La obtención de aceite a partir de Amaranto, no ocasiona impactos nocivos al medio ambiente, con respecto a los desechos vegetales que se obtiene del proceso de la obtención serán destinados como abono orgánico para los lugares donde se realizara la plantación de materia prima.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. GENERALIDADES DE LOS ACEITES VEGETALES

2.1.1. Definición

El aceite vegetal es un compuesto orgánico obtenido a partir de semillas u otras partes de las plantas, está compuesto por lípidos, es decir, ácidos grasos de diferentes tipos. (BUNGE, 2015)

Es un producto constituido por esteres glicéricos de ácidos grasos y sus fosfátidos asociados, esteroides, alcoholes, hidrocarburos y pigmentos, obtenidos de semillas oleaginosas o frutos por procesos industriales tales como extrusión, extracción de solventes orgánicos, calentamiento con vapor de agua, o cualquier combinación adecuada de esos procesos, (Álvarez, O. 2016)

2.1.2. Características de los aceites vegetales

Los aceites son ésteres formados por la condensación (unión) de ácidos grasos con glicerol. Constituyen los compuestos más estables, no son fácilmente degradables, no se disuelven en el agua y tienen menor densidad que esta. (Tabio, D. 2017)

La composición química de los aceites vegetales corresponde en la mayoría de los casos a una mezcla de 95% de triglicéridos (triésteres formados por la reacción de los ácidos grasos) y 5% de ácidos grasos libres, esteroides, ceras y otros componentes minoritarios.

El aceite vegetal puede ser almacenado durante largo tiempo sin deteriorarse; y puede ser manipulado, transportado sin peligro, pues no es explosivo, ni inflamable.

2.1.3. Clasificación de los aceites Vegetales

Los aceites vegetales se pueden dividir en cuatro grandes grupos:

Grupo	Índice de Yodo	De acuerdo a la norma NMX - f - 152 – scfi – 2005, los valores de Índice de Yodo para el Aceite de Amaranto, deben encontrarse en un rango entre 107 – 135 (González, C. 2012)
Aceites Saturados	5 - 50	
Aceites Monoinsaturados	50 - 100	
Aceites Bi insaturados	100 - 150	
Aceites Tri insaturados	>150	

2.1.4. Aceite Vegetal Crudo

El aceite vegetal es aquel que proviene de la extracción por solvente, que contiene los elementos que le son propios, y cuya composición es la que corresponde a la cosecha y a la procedencia de las semillas oleaginosas o frutos de los que fue extraído. (Álvarez, O. 2016)

Para obtener el aceite crudo, la mezcla aceite-solvente es sometida a un proceso de destilación, que recupera el aceite contenido, mediante evaporización y condensación del solvente, aprovechando los diferentes puntos de ebullición de cada una de las sustancias, posteriormente el aceite debe ser almacenado en un lugar fresco.

2.2. ORIGEN DEL AMARANTO

El Amaranto, un género de plantas herbáceas perteneciente a la familia Amaranthaceae; también es conocido como Coime, es considerado como un pseudocereal, debido a que posee propiedades similares a los de los cereales pero botánicamente no lo es. "El nombre *Amaranthus* proviene del griego “ἀμάραντος” que significa siempreviva, refiriéndose a las brácteas de la inflorescencia que no se marchitan" (Huertas y Camargo, 1976, citado por Agudelo-H, 2008).

Todas las especies del género *Amaranthus* que son utilizadas para la producción de grano son originarias de América. Las evidencias arqueológicas encontradas confirman esto, ya que los habitantes de este continente utilizaron las hojas y semillas de este género desde la Prehistoria, mucho antes del proceso de domesticación de estas especies. Las excavaciones realizadas por Mac Neish en el año 1964 indican que los indígenas ya cultivaban estas plantas durante la fase Coxcatlán (5 200 a 3 400 a. C.), lo cual quiere decir que la domesticación del amaranto tuvo lugar en la misma época que la del maíz. (Mapes, 2015)

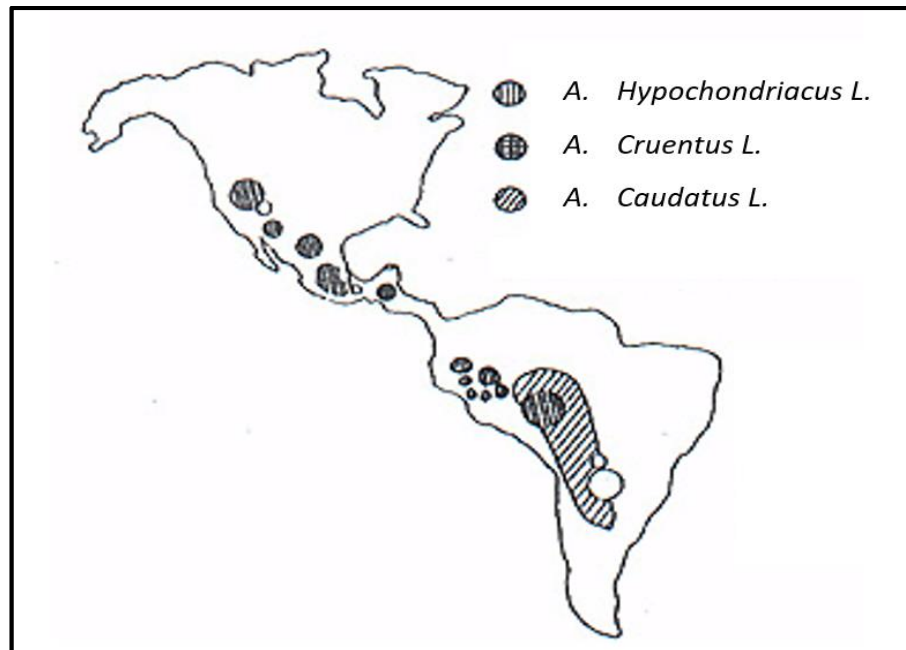
El *Amaranthus Cruentus L.*, es una especie para producción de grano, originaria de América Central, probablemente de Guatemala y el sureste de México, donde actualmente se sigue cultivando y se encuentra ampliamente distribuida. Otra especie para producción de grano es, *Amaranthus Caudatus L.*, la cual es de día corto y se adapta mejor a las bajas temperaturas que las otras especies; es originaria de los Andes,

de donde se extendió a otras zonas templadas y subtropicales. Por otro lado, la especie *Amaranthus Hypochondriacus L.* que data desde el tiempo de los aztecas, actualmente se sigue cultivando y se encuentra ampliamente distribuida en México; también se cultiva en los Himalayas, en Nepal y en el sur de la India, donde se han formado centros secundarios de diversificación (Mapes, 2015)

2.2.1. Especies de Amaranto

- *Amaranthus Caudatus L.*: La distribución se encontraba dirigida a la zona andina sudamericana, ahora se comercializa como planta de ornato, principalmente en Europa y Norteamérica.
- *Amaranthus Cruentus L.*: En tiempos precolombinos se encontraba desde el Norte de México a América Central, actualmente se cultiva para obtener grano y también se consume como vegetal.
- *Amaranthus Hypochondriacus L.*: Compartía su distribución con *A. Cruentus* sólo que esta comenzaba en el sud-oeste de Estados Unidos hasta la parte central de México, hoy se cultiva para obtener grano.

Fig. 2- 1 Distribución del género *Amaranthus* en América.



Fuente: (Saure, C. 1950)

2.3. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DEL AMARANTO

El amaranto es una especie de pseudocereal, que alcanza gran desarrollo en suelos fértiles.

Fig. 2- 2 Planta de Amaranto, especie *Amaranthus Caudatus*



Fuente: (WIKIPEDIA La Enciclopedia Libre, 2019)

Es una planta anual de tallos suculentos, tiernos y algo fibrosos; en estado de madurez, puede medir hasta 3 metros de altura o más; generalmente cuenta con un solo eje central, aunque también se presentan ramificaciones desde la base y a lo largo del tallo, es una gran fuente de vitaminas, proteínas y fibras.

El color de la planta va desde el verde hasta el púrpura, con varios colores intermedios como el rojo, morado, rosado, dorado y café. Las flores están dispuestas en una inflorescencia en panícula, que en su madurez presenta una coloración bastante vistosa de amarillo, verde, rosado, rojo y púrpura; mide hasta 90 centímetros de altura, dando a la planta un aspecto ornamental. (Tejerina, J. & Arenas, R. 2001)

El ciclo vegetativo del amaranto tiene un promedio de 180 días, desde que germina hasta que la semilla alcanza su madurez.

Partes del Amaranto

Las partes de la planta de amaranto son: la raíz, el tallo, hojas, flor, fruto y semilla cada una con usos y características diferentes.

- **Raíz**

Las plantas de coime o amaranto presentan una raíz con un eje principal más desarrollado, corto y grueso de hasta 15 centímetros de longitud y está provisto de numerosas raicillas laterales, constituyendo de esta manera un sistema radical fibroso que provee un buen sostén a la planta.

- **Tallo**

La planta de coime o amaranto por lo común tiene un tallo central aunque en algunos morfotipos tiende a ramificarse a media altura o desde la base y a lo largo del tallo. Su forma es la de un tallo cilíndrico deformado, con surcos superficiales y longitudinales, observándose protuberancias en los lugares donde nacen yemas y las flores.

- **Hoja**

El tamaño y la forma de la hoja varían entre las especies y dentro de ellas. Las hojas del coime o amaranto están generalmente dispuestas en forma alterna y opuesta, tanto en el tallo principal como en los secundarios y terciarios. Son romboides, elípticas, ovaladas, lisas con nervaduras pinnadas y pronunciadas presentando diversos colores desde el verde amarillento hasta el rojo encarnado y pueden terminar en un ápice agudo y son largamente pecioladas. (Tejerina, J. & Arenas, R. 2001)

Fig. 2- 3 Hoja de Amaranto



Fuente: (Tejerina, J. & Arenas, R. 2001)

En el sudeste de Asia, América y el subcontinente indio, las hojas de amaranto se usan hervidas para incluirlas en recetas junto a otras hierbas y especias.

- **Flor**

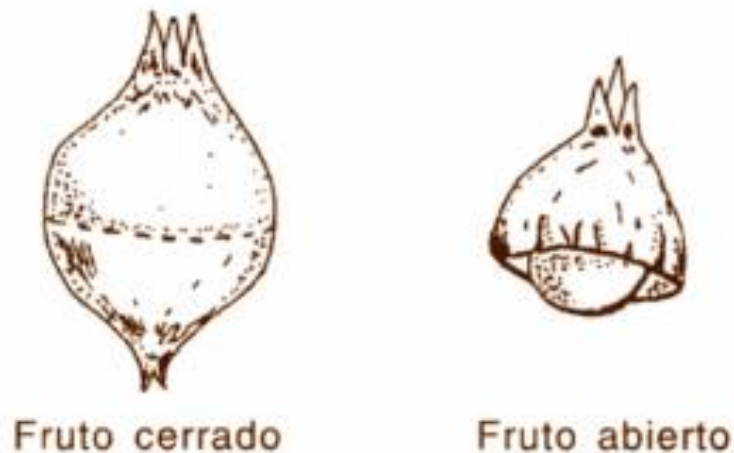
Son unisexuales, pequeñas, con estambres en el ápice del glomérulo y pistilos. Estas flores crecen en el tallo y tienen larga permanencia, conservándose vivas durante mucho tiempo, aún separadas del arbusto.

La flor es conocida con el nombre de Panoja, cada flor contiene una sola semilla en cada cápsula; cada Panoja tiene unos 50 000 gramos.

- **Fruto**

El fruto es seco, indehiscente, tipo cápsula que se abre transversalmente separándose de la parte superior (opérculo) de la parte inferior (uma) y contiene una sola semilla en su interior.

Fig. 2- 4 Fruto de Coime



Fuente: (Tejerina, J. & Arenas, R. 2001)

El aceite de Amaranto, se obtiene principalmente de las semillas.

- **Semilla**

Las semillas del coime o amaranto son pequeñas, ovaladas, lisas brillantes y ligeramente aplanadas, pudiendo ser de color blanco, blanco amarillento, dorado, rojo,

rosado y negro. Anatómicamente se distinguen en el grano (semilla) las siguientes partes centrales: la cubierta, que es una capa muy fina de células conocida como episperma, una segunda capa que está formada por los cotiledones siendo la parte más rica en proteína y finalmente una capa interna, rica en almidones, llamada perisperma. En cuanto al peso de la semilla se presenta una variación entre las diversas especies de *Amaranthus* y aún entre variedades de la misma especie, siendo estos valores promedios aproximadamente desde 0,5 a 0,9 miligramos por semilla. (Tejerina, J. & Arenas, R. 2001)

Fig. 2- 5 Semillas de Amaranto



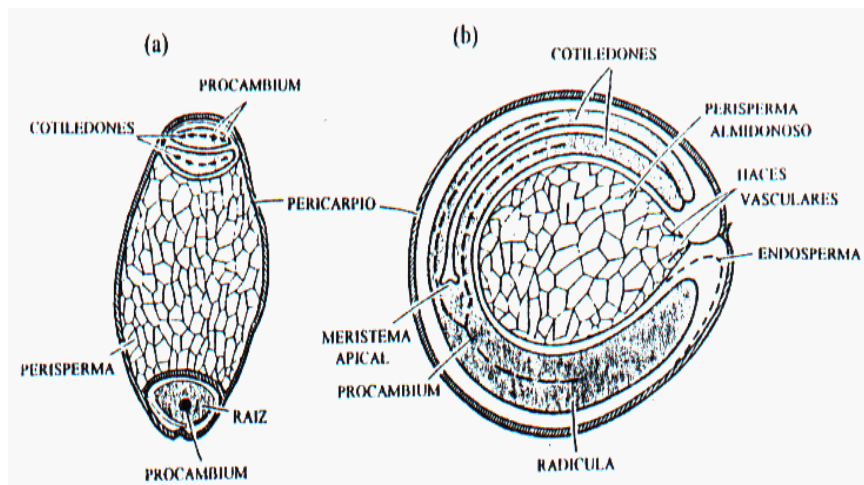
Fuente: (Botanical Online, 2018)

Las semillas contienen de un 13 a un 18% de proteínas y un alto nivel de leucina, aminoácido esencial para la nutrición.

El grano de coime tiene un contenido de calcio, fósforo, hierro, potasio, zinc, vitamina E y complejo de vitamina B. Su fibra, comparada con la del trigo y otros cereales es muy fina y suave.

No es necesario separarla de la harina; es más, juntas constituyen una gran fuente de energía.

Fig. 2- 6 Secciones transversal y longitudinal del grano de Amaranto



Fuente: (FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)

2.4. DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DEL AMARANTO

Cuadro II-1 Taxonomía del Amaranto

Reino	Vegetal
División	Fanerogama
Tipo	Embryophyta siphonogama
Subtipo	Angioperma
Clase	Dicotiledoneae
Subclase	Archyclamidae
Orden	Centrospermales
Familia	Amaranthaceae
Género	Amaranthus
Especies	Caudatus, Cruentus, Hypochondriacus

Fuente: (FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)

2.4.1. Composición Química de la semilla de Amarantho

Tabla II-1 Composición química de la semilla de amaranto (por 100 g de parte comestible y en base seca).

Característica	Contenido
Proteína (g)	12 – 19
Carbohidratos (g)	71,800
Lípidos (g)	6,100 – 8,100
Fibra (g)	3,500 – 5,000
Cenizas (g)	3,000 – 33
Energía (kcal)	391
Calcio (mg)	130 – 164
Fósforo (mg)	530
Potasio (mg)	800
Vitamina C (mg)	1,500

Fuente: (FAO Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)

2.5. AMARANTHUS CAUDATUS L.

El amaranto (*Amaranthus Caudatus L*), es una especie perteneciente a la familia Amaranthaceae. Son un género de hierbas ampliamente distribuido por la mayor parte de las regiones templadas y tropicales. Aunque persiste algo de confusión sobre su exacta taxonomía, existen alrededor de 60 especies, varias de ellas se cultivan como verduras, cereales o plantas ornamentales.

Su nombre Latín *Amaranthus*, se traduce de “color amarillo” y la especie “Caudatus” con la “forma de cola”. Por eso se puede imaginar que el *Amaranthus Caudatus* recibe, por sus inflorescencias, el nombre latino, que significa “cola amarilla” (Calderón, S. 2017)

Esta especie además de Bolivia se cultiva en Perú, Ecuador y Noroeste de Argentina en la zona de los valles interandinos (2 5000 a 3 100 m de altura).

La especie *Amaranthus Caudatus L.*, es la materia prima utilizada para la elaboración del presente Proyecto.

A continuación se citan los nombres más comunes de *Amaranthus Caudatus L.*, utilizados en los países de la zona andina de América del Sur:

Cuadro II-2 Nombres comunes *Amaranthus Caudatus L.*, América del Sur

País	Nombre común
Argentina	Kiwicha
Bolivia	Ataco, Aroma, Coime, Coimi, Cuymi. Illamcuma, Millmi.
Colombia	Amaranto, Abanico, Bledo blanco.
Ecuador	Airampo, Ataco, Sangoroche
Perú	Quihuicha
Venezuela	Amaranto, Hierba caracas, Pira.

Fuente: (Tejerina, J. & Arenas, R. 2001)

De igual forma, se refleja el contenido de minerales que posee la especie *Caudatus L.*:

Tabla II-2 Minerales del Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*)

Minerales del Amaranto (<i>Amaranthus Caudatus L.</i>)	Contenido mg/g
Calcio	217 – 303
Fósforo	556 – 600
Potasio	525 – 536
Magnesio	319 – 344
Hierro	21 – 104
Sodio	22 – 26
Zinc	3,200 – 3,400
Manganeso	2,900 – 5,200
Cobre	0,900 – 4,100

Fuente: (Tejerina, J. & Arenas, R. 2001)

2.6. PRODUCCIÓN DE AMARANTO

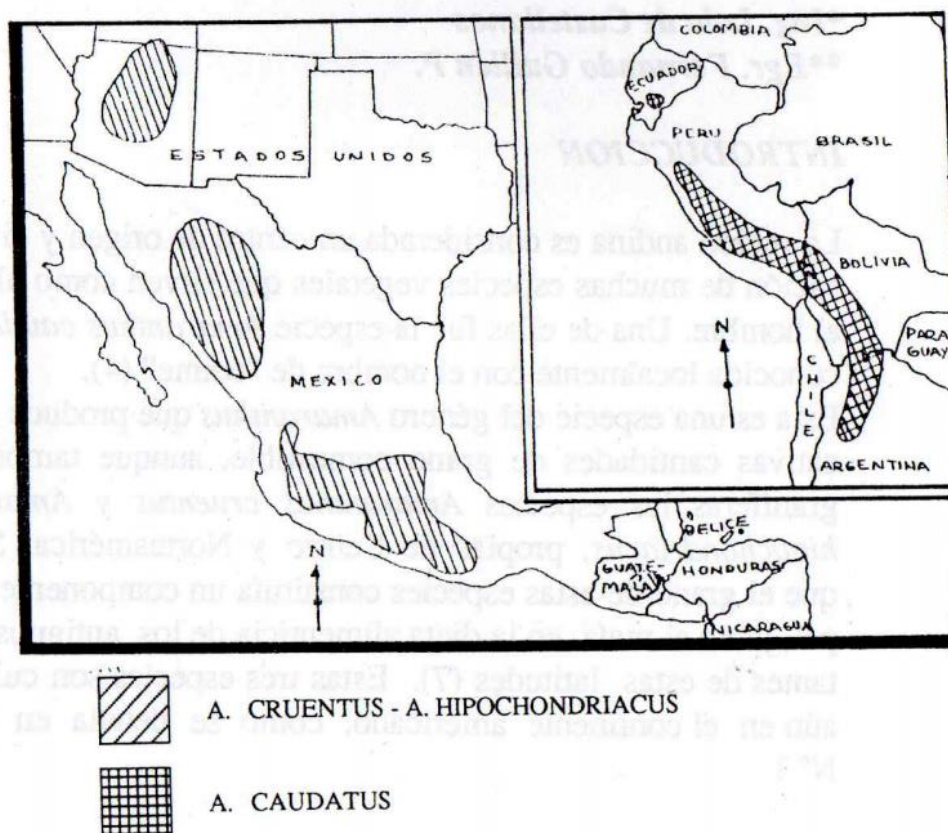
A nivel mundial, el amaranto se produce en zonas tropicales, como ser: México, Guatemala, India, África, Malasia, Indonesia, Cuba, Estados Unidos y China; de acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y

la Agricultura (FAO), China es actualmente el país donde se cultiva la mayor extensión de amaranto, alcanzando una extensión de 150 000 hectáreas sembradas.

Específicamente en América del Sur, en general el cultivo del amaranto o coime, se repliega desde el sur de Ecuador a través de Perú y Bolivia, hasta el noroeste de Argentina.

A continuación se presenta la distribución geográfica del cultivo de Amaranto en América:

Fig. 2- 7 Áreas de Cultivo Nativo de Especies Graníferas del Género *Amaranthus*

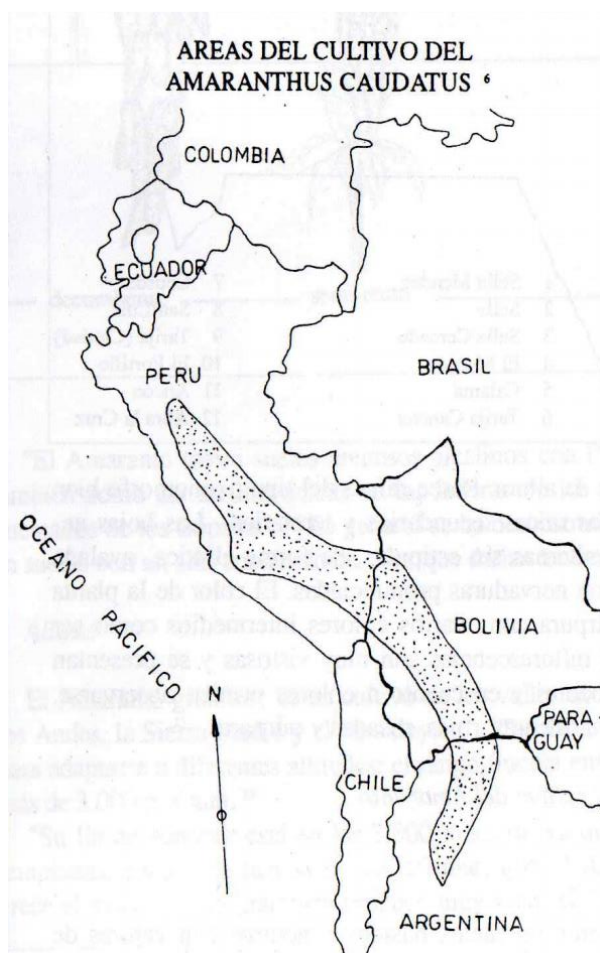


Fuente: (Saure, C. 1950)

La especie predominante en América del Sur, es *Amaranthus Caudatus* L., su cultivo se extiende desde Ecuador, atraviesa los valles interandinos de Perú (Cuzco, Apurímac y Ayacucho), los valles de Norte Argentino (Provincias de Salta y Jujuy) y los valles

mesotérmicos de Bolivia (Departamentos de Tarija, Sucre, Cochabamba y parte de los Yungas).

Fig. 2- 8 Áreas de Cultivo, *Amaranthus Caudatus* L., América del Sur



Fuente: (Kietz, R. 1992)

El Amaranto en Bolivia, es cultivado en Cochabamba, Chuquisaca y Tarija, actualmente se impulsan proyectos de producción del Amaranto, con el objetivo de incentivar el consumo en las familias bolivianas, e impulsar las actividades de producción y agro industrialización.

Bolivia cuenta con las condiciones climatológicas y de suelo, adecuadas para incentivar la producción de Amaranto (*Amaranthus Caudatus* L.), y a su vez incursionar en la aplicación de técnicas para la obtención de aceite vegetal a partir de esta materia prima otorgándole un valor agregado.

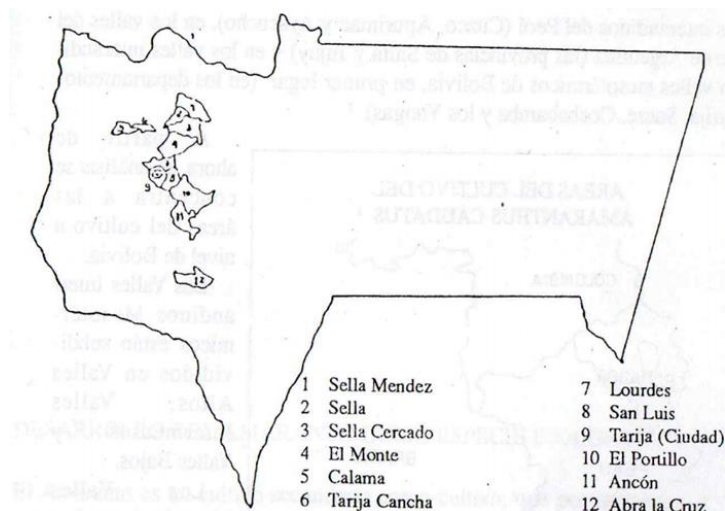
Fig. 2- 9 Sitios de recolección de Amaranto almacenados en el Banco de Germoplasma de Granos Andinos



Fuente: (Bioversity International, 2010)

La Unidad de Tecnología Alimentaria Boliviana del CIEP, realizó la recolección de germoplasma del género *Amaranthus* en el Valle Central del departamento de Tarija.

Fig. 2- 10 Áreas de Dispersión Cultivos Locales *Amaranthus Caudatus* L, Valle central de Tarija.



Fuente: (Unidad de Tecnología Alimentaria Bolivia UTAB, Centro de Investigaciones de Energía y Población CIEP, 1990)

2.7. ACEITE DE AMARANTO

El aceite de Amaranto, como lo indica su nombre, es la extracción de la parte grasa de las semillas de la planta del Amaranto. El rendimiento en aceite de la semilla de amaranto varía de 5 a 10 %, del peso de la semilla, bajo si se compara con otras fuentes de aceite. (Wikipedia, La Enciclopedia libre, 2008)

2.7.1. Propiedades, Usos y Beneficios del Aceite de Amaranto

El aceite de amaranto es una fuente importante de escualeno, de acuerdo a diversas investigaciones el grano de amaranto ha sido reconocido como la fuente vegetal más rica en este compuesto ya que contiene de 2,4 a 8%. El escualeno mejora las cualidades biológicas de la piel, retarda los efectos del envejecimiento y del desarrollo de arrugas también actúa de manera favorable en la profilaxis del envejecimiento de la piel, particularmente en las personas que se exponen a los efectos del tiempo adverso y al ambiente externo agresivo, esto se debe a que absorbe fácilmente, penetra las membranas celulares y desempeña un papel versátil como antioxidante en las células de los órganos del cuerpo, es importante mencionar además que hoy en día el escualeno sigue siendo objeto de estudio de investigación por sus propiedades anticancerígenas. (Calderón, S. 2017).

Cosmética Ecológica Alemana, destaca al Dr. Scheller quien ha lanzado al mercado una línea específica antiarrugas para pieles exigentes cuyos ingredientes principales son el amaranto y el escualeno, además del preciado aceite de argán, un “súper aceite” que refuerza la acción alisadora, tensora y rejuvenecedora; y que también ejercen el resto de los componentes, como el ácido hialurónico, todos ellos obtenidos de la agricultura ecológica. Destacando el uso de la *Acmella oleracea*, y su “efecto bótox. (COCIENCIA ECO, 2017)

Finalmente, de acuerdo a los resultados de un estudio clínico llevado a cabo por Functional Foods Center de Dallas, la Universidad Estatal del Vorónezh (Rusia), y el Instituto Estatal de Nutrición de la Academia Rusa de Ciencias Médicas (Mosú), se concreta que el aceite de amaranto cuenta con un valor preventivo y terapéutico para las enfermedades del sistema cardiovascular. (Botanical Online, 2018)

2.7.2. Comercialización de Aceite de Amaranto

No existe gran incursión en el campo de la obtención de este tipo de aceite son muy pocos los productores, difícil de encontrar y tiene un precio elevado en el mercado, su uso se destina principalmente para fines medicinales y cosmetológicos, esto se debe a que el grano de amaranto solamente contiene entre 5 a 10% de grasa, que es un porcentaje bajo en comparación a otros granos.

Los Principales Proveedores de Aceite de Amaranto, se encuentran en el país de México, mismos entre los que se destacan, Técnico Distribuidor INFAC, Glicerinas Industriales GLINSA, Industrias NUTRAFRUT. El aceite de Amaranto no se industrializa de manera masiva, por lo que el producto tiene un precio elevado en el mercado.

El precio del aceite de amaranto al por menor oscila entre los 150 a 200 € (1 170 a 150 Bs aproximadamente), el litro, se comercializa además en envases de 100 ml.

Los canales de distribución de este producto son indirectos, se comercializa en sus diversas presentaciones, a través de sitios web de compra y venta segura, tales como: eBay, AMAZON, y Alibaba.com.

2.8. LEYES Y NORMATIVAS

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador, cuenta con un apartado especial, denominado CONCEPTOS Y PARÁMETROS DE CALIDAD PARA EL GRANO DE AMARANTO (*Amaranthus spp*), mismo que fue publicado en Julio del año 2011.

En nuestro país, de acuerdo con los registros del Instituto Boliviano de Normalización y Calidad, IBNORCA, actualmente existen, dos normativas para el Amaranto:

- NB 336003-05 Amaranto - Definiciones
- NB 336004-06 Amaranto - Clasificación y requisitos

Debido a que el aceite de Amaranto, no se produce ni comercializa frecuentemente en el mercado, en la actualidad Bolivia no cuenta con una normativa específica para este producto.

2.9. PROCESOS TECNOLÓGICOS VIGENTES PARA LA OBTENCIÓN DE ACEITES VEGETALES

Existen diversos procesos tecnológicos para la obtención de aceite vegetal, entre los cuáles se destacan:

2.9.1. Proceso de extracción mediante Prensado, Prensa hidráulica

El prensado hidráulico, el proceso más antiguo, se originó en Europa en 1795, debido al desarrollo de nuevas técnicas actualmente no es muy utilizado. (Grasso, F. 2013)

El prensado en frío se efectúa a una temperatura máxima de 45°C; a continuación, se decanta y se filtra antes de ser embotellado en botellas opacas. Los aceites prensados en frío no pasan por un refinado adicional. Cabe destacar que la denominación "prensado en frío" no se ajusta a ningún precepto legal, por lo que los aceites así comercializados pueden no haber sido sometidos a este proceso.

Aceites denominados como prensados en frío son en realidad prensados por expulsor en un ambiente con temperaturas controladas que se mantienen por debajo de los 120 grados °F. Es importante señalar que mientras que en Europa existen rigurosos estándares para la terminología de prensado en frío (aceite totalmente sin refinar extraído a temperaturas por debajo de los 122 °F), la frase "prensado en frío" ha sido usada erróneamente por muchos años en Estados Unidos, generalmente se la ha empleado como una técnica de mercadeo para aceites que han sido prensados por expulsor o hasta refinados (que someten al aceite a temperaturas hasta de 470 °F). (Prensado en Frío, 2017)

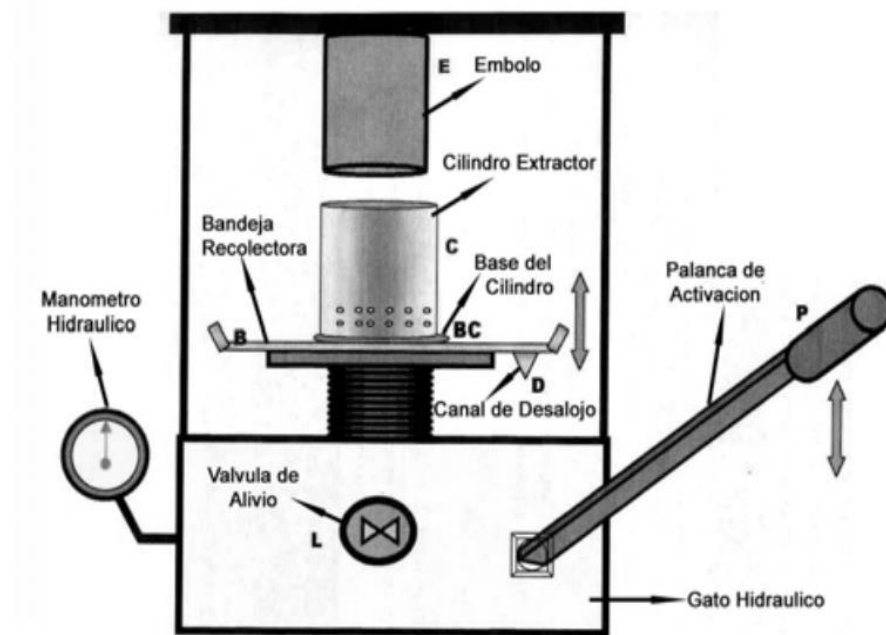
El proceso se realiza en prensa hidráulica, la salida del aceite es a través de agujeros ubicados en el extremo de la cámara cilíndrica de la prensa. Las semillas reciben un aumento de compresión en dirección a la cabeza de la prensa. El aceite se extrae de las semillas cerca de los orificios de salida y drena a través de ellos. (Álvaro, O. 2016)

Para el prensado de las semillas se siguen los siguientes pasos:

- Colocar las semillas en el recipiente de extracción.

- Colocar sobre las semillas y dentro del recipiente de extracción, el pistón con la varilla hacia arriba.
- Colocar el conjunto armado dentro del recipiente para recolección de aceite.
- Con esto hecho se está en condiciones de prensar las semillas mediante el bombeo del gato hidráulico. (Álvaro, O. 2016)

Fig. 2- 11 Esquema Modelo de Prensa Hidráulica para obtención de aceite de semillas oleaginosas



Fuente: (Hernández, C. y Mieres, A. 2012)

2.9.2. Proceso de extracción mediante Emulsión

En la extracción del aceite, las semillas molidas se mezclan con agua caliente y se hierven para permitir que el aceite flote y sea recogido. Las semillas molidas se mezclan con agua caliente para hacer una pasta que se amasa en una prensa hasta que el aceite se separa en forma de emulsión

Se obtiene de esta manera el aceite crudo, el cual se almacena en tanque o depósitos de acero inoxidable. Posteriormente, el aceite es sometido a diferentes procesos de refinado según su uso en la industria (Álvaro, O. 2016)

2.9.3. Proceso de extracción en Condiciones Supercríticas

La extracción supercrítica es una operación unitaria de transferencia de masa que se efectúa por encima del punto supercrítico del solvente; esta extracción permite controlar y manipular en condiciones de presión y temperatura a las de su punto crítico. Se considera punto crítico aquel en el que las fases líquidas y vapor se vuelven indistintas, esto es, la fase crítica, determinada normalmente por los parámetros: presión crítica, temperatura crítica y densidad crítica (Álvaro, O. 2016)

En esta fase el fluido tiene propiedades típicas que lo hacen especialmente indicado como solvente de extracción; así:

- El hecho de poseer viscosidades próximas a las del gas, aumenta su poder de difusión., densidades próximas a las del líquido, favorece la interacción entre las moléculas de solvente y soluto.
- Con pequeñas variaciones de presión y temperatura se puede variar la densidad del fluido controlando así su poder solvente.
- La separación del solvente puede ser hecha sencillamente por variación de la presión y/o temperatura.
- Poseer coeficientes de difusión próximos a los del líquido, lo que facilita el fenómeno de transporte.

Los fluidos utilizados como solventes de extracción supercrítico son el dióxido de carbono, propano, agua, amoníaco, hexano, etileno, tolueno y el óxido nitroso.

De todos los solventes referidos, el más utilizado es sin duda alguna el dióxido de carbono, a causa de los bajos valores de sus parámetros críticos (especialmente la temperatura, que permite su utilización en extracciones con productos volátiles o que se alteran químicamente a altas temperaturas)

Esta técnica de desarrollo reciente, tiene la ventaja de no alterar la composición del aceite, ni de dejar ningún resto de disolvente, sin embargo los costos del equipo y operación son elevados debido al empleo de altas presiones y equipos herméticos para el trabajo con gases. (Álvaro, O. 2016)

2.9.4. Extracción de aceite vegetal mediante solvente, Método Soxhlet

La extracción de muestras sólidas con solventes, generalmente conocida como extracción sólido-líquido o lixiviación, es un método muy utilizado en la separación de compuestos antioxidantes a partir de residuos sólidos. Estos residuos requieren la extracción con solventes convencionales y la posterior eliminación de estos para obtener un extracto concentrado.

Es un proceso muy empleado dado que, en comparación con la extracción de los aceites por métodos mecánicos de presión, como expulsores o prensas hidráulicas; permite la recuperación de casi todo el aceite, dejando solo del 0,5% al 0,7% de aceite residual en la materia prima.

Los solventes más habituales para llevar a cabo este procedimiento son: agua acidificada, etanol, metanol, isopropanol, hexano, ciclohexano, tolueno, xileno, ligroína, éter etílico, éter isopropílico, acetato de etilo, acetona, cloroformo; no se usan clorados ni benceno por su peligrosidad a la salud. El hexano es el solvente más utilizado para extraer aceites comestibles de plantas. (Tabio, D., Díaz, Y., Rondón, M., Fernández, E. & Piloto, R. 2017).

El método de extracción con solventes se puede aplicar directamente a los materiales de bajo contenido en aceite crudo. También puede utilizarse para extraer el aceite de tortas obtenidas de los materiales con alto contenido y que han sido prensados previamente. Debido al alto porcentaje de aceite recuperado, la extracción con solventes se ha convertido en el método más popular de extracción.

A este análisis también se le conoce como gravimétrico, denominación que proviene del latín *gravis* = con peso, y del griego antiguo *metria* = medir. Se lleva a cabo el registro del peso de la muestra de alimento en dos momentos clave: al inicio, cuando el alimento aún contiene a la sustancia que nos interesa; y al final, cuando ha perdido parte de su composición, que bien puede ser el componente que queremos cuantificar o, por el contrario, toda la materia que no lo contenga. Por diferencia de peso, es posible estimar el porcentaje del compuesto.

Se aplica en los laboratorios de análisis de alimentos, que están certificados para generar la tabla de valor nutrimental de un producto alimentario, lo emplean de forma rutinaria para determinar el contenido de grasa en muestras sólidas. Se aplica en el control de calidad, al verificar que los productos se elaboren con un mismo contenido de grasa en todos sus lotes.

El método se emplea con fines pedagógicos o de investigación, en las carreras técnicas y universitarias, que estudian la composición de alimentos, como nutrición, química, bioquímica e ingenierías orientadas al área de alimentos.

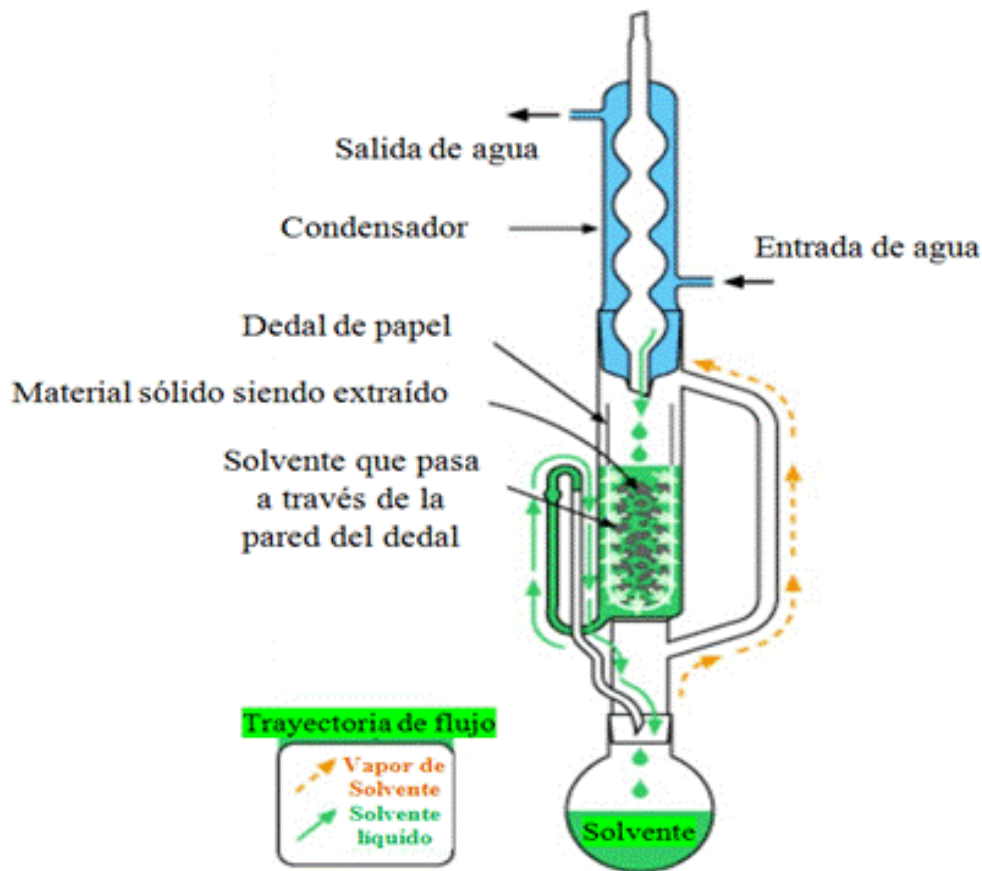
La extracción Soxhlet es considerado como método estándar de extracción de aceites; es el método más frecuentemente utilizado desde su diseño en el siglo pasado hasta la actualidad, consolidado como método de referencia para la comparación con otros métodos de extracción de aceites.

Cabe resaltar que el método de extracción por solvente es una técnica clásica empleada por EPA (U.S. Environmental Protection Agency) y la FDA (Food and Drugs Administration). (Técnicas Avanzadas en Química, 2005)

La extracción con Soxhlet se fundamenta en las siguientes etapas:

- Colocar el solvente en un balón.
- Llevar a punto de ebullición el disolvente, mismo que debe evaporar hasta un condensador a reflujo.
- Dejar caer el condensado sobre un recipiente que contiene un cartucho poroso con la muestra en su interior.
- El solvente cubre el cartucho hasta un punto en que se produce el reflujo que vuelve el disolvente con el material extraído al balón.
- Repetir el proceso la cantidad de veces necesaria para que la muestra quede agotada.
- Concentrar lo extraído en el balón del disolvente.

Fig. 2- 12 Esquema de Equipo de Extracción Soxhlet Tradicional



Fuente: (Lárez, C. 2014)

2.9.4.1. Análisis Comparativo de Solventes

Para llevar a cabo el presente trabajo de investigación aplicada, obtención experimental de Aceite Crudo Vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija, se opta por utilizar el Método de Extracción por Solvente, esto debido a la naturaleza de la materia prima y a los equipos que se tiene a disposición en el laboratorio.

Para llevar a cabo la extracción de aceite, a través del Método Soxhlet, existen diversos reactivos que pueden ser utilizados como solventes, a continuación se detalla las características de los solventes más comúnmente utilizados como solventes, en este proceso.

- **Alcohol Eílico (Etanol):** El compuesto químico etanol, más comúnmente conocido como alcohol eílico, es un alcohol que en condiciones normales de presión y temperatura se presenta como un líquido incoloro e inflamable, su temperatura de ebullición a nivel del mar es de 78,4 °C.

Tabla II-3 Características Alcohol Eílico (Etanol)

Características Alcohol Eílico	
Fórmula	C ₂ H ₅ OH
Punto de Ebullición	78 ° C
Densidad	0,812 g/ml
Peso Molecular	46,070 g/mol
Punto de Inflamación	13 °C

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **Éter de Petróleo:** El éter de petróleo es una fracción del petróleo compuesta de una mezcla de la serie homóloga de los hidrocarburos saturados o alcanos, también conocido como bencina, nafta VM & P, nafta de petróleo, nafta ASTM o ligroína, es una mezcla líquida de diversos compuestos volátiles, y muy inflamables. Se emplea principalmente como disolvente no polar.

Tabla II-4 Características Éter de Petróleo

Características Éter de Petróleo	
Fórmula	El éter de petróleo es una mezcla de hidrocarburos por lo que no posee una sola fórmula química.
Punto de Ebullición	30 - 40 ° C
Densidad	0,670 g/ml
Punto de Inflamación	-56 °C

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **n – Hexano:** El hexano o *n*-hexano es un hidrocarburo alifático alcano con seis átomos de carbono, se trata de un líquido incoloro, fácilmente inflamable y con un olor característico a disolvente. Es poco soluble en agua, pero se mezcla bien con los disolventes orgánicos apolares como, el éter o el benceno.

Tabla II-5 Características n-Hexano

Características n-Hexano	
Fórmula	C ₆ H ₁₄
Punto de Ebullición	68,5 ° C
Densidad	0,654 g/ml
Peso Molecular	86,170 g/mol
Punto de Inflamación	-23 °C

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Cuadro II-3 Análisis Comparativo de los diversos Solventes

Proceso	Solvente	Accesibilidad	Ventajas	Desventajas
Extracción mediante Solvente: Método Soxhlet	Etanol	Venta Libre	<ul style="list-style-type: none"> • Es el más barato de los solventes evaluados. • Fácil de conseguir. • No contamina el medio ambiente • No es difícil de manipular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Separación más lenta del solvente, cuando se lo aplica como solvente en extracción de aceite. • Redimiendo relativamente bajo en comparación a los otros solventes evaluados.
	Éter de Petróleo	Sustancia Controlada	<ul style="list-style-type: none"> • Económico. • Menos inflamable. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de incendio y explosión. • Menor rendimiento en el proceso de extracción.
	n-Hexano	Sustancia Controlada	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor rendimiento en el proceso de extracción. • No provoca alteraciones en los componentes del aceite. • Mayor selectividad que otros solventes. 	<ul style="list-style-type: none"> • Riesgo de incendio y en exposición sino se maneja con cuidado. • Contaminación al medio ambiente.

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Debido a que no existe demasiada información acerca de obtención experimental de aceite crudo de Amaranto, sólo se cuenta con base bibliográfica de datos del valor de

rendimiento de la obtención utilizando, como solvente n-Hexano, mismos que se detallan a continuación:

Tabla II-6 Datos Bibliográficos de Rendimiento Experimental en la obtención de Aceite crudo de Amaranto

Especie Materia Prima	Método de Obtención	Solvente Utilizado	Lugar donde se realizó el Experimento	Rendimiento %
<i>Amaranthus Caudatus L.</i>	Extracción por Solvente, Método Soxhlet	Hexano	La Paz Bolivia	7,750
<i>Amaranthus Hypochondriacus.</i>	Extracción por Solvente, Método Soxhlet	Hexano	Querétaro México	4,540

Fuente: Elaboración propia en base a datos bibliográficos, 2020.

En cuanto a precios, consultados en mercado, 1 000 ml de los diversos solventes, se tiene:

Tabla II-7 Precios de los diversos solventes (Bs)

Precio de 1 000 ml de Solvente.		
Alcohol Etilico (Etanol)	Éter de Petróleo	n-Hexano
10 Bs	450 Bs	600 Bs

Fuente: Elaboración propia, 2020.

2.10. CALIDAD EN ACEITES

La calidad de un aceite está determinada por una serie de características o propiedades físicas y químicas que proporcionan indicios de la pureza, conservación, usos y otras cualidades del aceite.

Como ya se ha mencionado anteriormente, debido a que el aceite de Amaranto, no se produce ni comercializa frecuentemente en el mercado, en la actualidad Bolivia no cuenta con una normativa específica para este producto.

De manera general, entre las propiedades que definen la calidad de un aceite se encuentran: la densidad, índice de refracción, índice de acidez, índice de yodo, índice de saponificación, índice de peróxido, propiedades físicas como color, olor, entre otros.

2.10.1. Densidad

Determina la relación entre la cantidad de masa por unidad de volumen, expresada en unidades de gramos por centímetro cúbico, a una temperatura dada. (Madrid, V. 1988)

2.10.2. Índice de refracción

El índice de refracción de una sustancia dada es la razón de la velocidad de un rayo de luz en el vacío a la luz a través de la sustancia. Por conveniencia práctica se refiere a la relación aire-sustancia. (Madrid, V. 1988)

2.10.3. Índice de Yodo

El índice de Yodo es una medida de la instauración de ácidos grasos. Se expresa convencionalmente por el peso de Yodo absorbido por cien partes en peso de la muestra (Madrid, V. 1988)

2.10.4. Índice de Peróxido

El índice de peróxido mide el grado de oxidación primaria que ha sufrido la grasa o aceite. Los peróxidos son los productos de descomposición primaria de la oxidación de las grasas, cualquiera sea su composición.

2.10.5. Índice de Saponificación

El índice de Saponificación expresa el peso en mg de hidróxido de Potasio necesario para saponificar 1 g de grasa en condiciones específicas.

2.10.6. Índice de Acidez

Es la expresión convencional del contenido del tanto por ciento de los ácidos grasos libres. También denominado grado de acidez. (Madrid, V.1988)

2.11. DATOS EXPERIMENTALES Y DE APLICACIÓN PRÁCTICA OBTENIDOS POR OTROS AUTORES

De acuerdo (Contreras, Martínez, Caudillo, Ramirez , & Mares, 2016) en su investigación OBTENCIÓN DE ACEITE COMESTIBLE A PARTIR DE SEMILLAS DE AMARANTO (*Amaranthus Hypochondriacus*) El amaranto posee propiedades nutritivas como son las proteínas, antioxidantes y vitaminas naturales: A, B, C, B1, B2, B3; además de ácido fólico, niacina, calcio, hierro y fósforo. Es uno de los alimentos con altísima presencia de aminoácidos como la lisina.

Por las propiedades nutritivas y los componentes del amaranto (proteínas, vitaminas, minerales, aminoácidos, fibra y grasas) es recomendado para prevenir y ayudar a curar afecciones como la osteoporosis, diabetes mellitus, obesidad, hipertensión arterial, estreñimiento y diverticulosis, insuficiencia renal crónica, insuficiencia hepática, encefalopatía hepática.

Este alimento es apto para celíacos y una dieta para personas con autismo. De acuerdo a las pruebas realizadas el rendimiento del producto fue favorable, obteniendo una mayor cantidad del amaranto.

Por otro lado, (Calderón, S. 2017) realizó la extracción del aceite del grano de amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), Variedad Oscar Blanco, el departamento de Paz, Bolivia, mediante el proceso de extracción continua con equipo SOXHLET, determinó que la humedad óptima para la extracción es de 9,360 %.

Así mismo Calderón indica que para el método de extracción usado en la investigación se optimizo el proceso para evitar la contaminación del extracto con la misma harina, el tamaño de partícula óptimo para el proceso es de 0,075mm. Se ha logrado una recuperación del solvente empleado en la extracción del 94 %, quedando en la harina desgrasada un 0,070 % y una pérdida de 0,420 %, el rendimiento en proceso de obtención alcanza 7,750 %.

Se puede observar, en los resultados de su investigación que el porcentaje mayoritario contenido en el aceite de amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), Variedad Oscar Blanco es el Linoleico C18:2(Omega 6) con 45,180 %, seguido del Oleico con un 26%.

Haciendo una comparación con el amaranto (*Amaranthus Hypochondriacus*) investigado en la tesis de Gonzales Carlos en Noviembre 2012 Querétaro México, el amaranto usado en la investigación tiene un mayor contenido de materia grasa, también es óptimo para la utilización en la manufactura de jabones.

Cabe destacar de igual manera que (González, C. 2012) en su trabajo de investigación, empleando el proceso de extracción por solvente, utilizando como reactivo n-Hexano, logra un rendimiento en la obtención de aceite crudo de Amaranto (*Amaranthus Hypochondriacus*), de 4,540 %.

Debido a que en Bolivia no existe una normativa exclusiva para el aceite de Amaranto, Calderón en su trabajo realiza análisis de los diferentes constituyentes del grano de amaranto se realizó, de acuerdo a los métodos, técnicas y normas de IBNORCA para la quinua:

- NB 312009-03 Cereales - Quinoa en grano - Método instrumental - Determinación de Sodio.
- NB 312010-03 Cereales - Quinoa en grano - Método instrumental - Determinación de Potasio.
- NB 312011-03 Cereales - Quinoa en grano - Método instrumental - Determinación de Calcio.
- NB 312012-03 Cereales - Quinoa en grano - Método instrumental - Determinación de Magnesio
- NB 312013-03 Cereales - Quinoa en grano - Método instrumental - Determinación de Hierro
- NB 312014-03 Cereales - Quinoa en grano - Método instrumental - Determinación de Manganeso
- NB 312015-03 Cereales - Quinoa en grano - Método instrumental – Determinación de Cobre.

A continuación se detalla de manera referencial los resultados de los valores obtenidos en la Investigación realizada por (Calderón S., 2017), para el grano de Amaranto:

Tabla II-8 Resultados para el Grano de Amaranto Obtenidos en la investigación de Calderón Sonia, 2017

Parámetros	Resultados
Humedad	9,360 %
Cenizas	2,560 %
Grasa	7,460 %
Potasio	46 (mg/100g)
Zinc	6,800 (mg/100g)
Hierro	1,600 (mg/100g)
Sodio	46 (mg/100g)
Magnesio	27 (mg/100g)
Calcio	102 (mg/100g)

Fuente: (Calderón, S. 2017)

Así mismo se detallan los resultados de los valores obtenidos por (Calderón, S. 2017) para el Aceite de Amaranto:

Tabla II-9 Resultados para el Aceite de Amaranto Obtenidos en la investigación de Calderón Sonia, 2017

Parámetros	Resultados
Densidad	0,870 g/ml
Índice de Saponificación	161,580 mg KOH/g
Índice de Peróxido	0,200 meqO ₂ /kg
Índice de Refracción	1,468

Por otro lado existen datos e (Ariza, Luna, López, & Arellano, 2016) quienes realizaron la Extracción y Refinación de Aceite de Amaranto, en Puebla México.

III CAPÍTULO III
PARTE EXPERIMENTAL

3.1. INTRODUCCIÓN

La parte experimental del presente trabajo "Obtención Experimental de Aceite Crudo de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija" se realizó en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias, de la carrera de Ingeniería Química, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, ubicado en el Campus Universitario de la Zona El Tejar.

Fig. 3 - 1 Ubicación Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho



Fuente: Google Maps, 2020.

El Laboratorio de Operaciones Unitarias, se encuentra a una latitud de $-27,544204$ y longitud de $-64,722940$.

3.2. DESCRIPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA: SEMILLA DE AMARANTO (*Amaranthus Caudatus L.*)

La materia prima utilizada en el presente trabajo de investigación, es la semilla de amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), misma que se obtiene a partir de los frutos de la planta de Amaranto, producida en la Primera sección del departamento de Tarija, cantón Santa Ana, Comunidad El Portillo.

Fig. 3 - 2 Semilla de Amaranto



Fuente: (Botanical Online, 2018)

Las semillas de Amaranto, son pequeñas, ovaladas, lisas, livianas, brillantes, y ligeramente aplanadas, de color amarillo ámbar; tienen un diámetro variante entre 1 - 1,5 mm, alrededor de 1 000 - 3 000 semillas, forman un gramo.

Para la caracterización de la materia prima, se realizó la descripción física a través de la determinación de los porcentajes de humedad y cenizas de las semillas.

Los resultados obtenidos se comparan con datos bibliográficos sobre frutos y semillas de otros lugares del mundo, verificando que no existen diferencias significativas entre los mismos, y que los valores se encuentran, entre los rangos permisibles de la norma establecida.

3.2.1. Determinación del porcentaje de Humedad en las semillas de Amaranto

El procedimiento para determinar el contenido de humedad en las semillas de Amaranto, se basa en el método de desecación de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, FAO, aplicable a la mayoría de los alimentos, el cual indica que se debe secar la muestra a una temperatura de 105°C hasta que logre alcanzar peso constante.

La determinación del porcentaje de Humedad, se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Operaciones Unitarias LOU, de la Carrera de Ingeniería Química, el equipo utilizado para determinar el contenido de humedad en las semillas de Amaranto, fue un secador infrarrojo SARTORIUS MA 100.

El procedimiento empleado para determinar el contenido de humedad se detalla a continuación:

- Pesar 5 gr de semillas en la balanza del analizador.
- Programar el equipo a 105 °C.
- Iniciar el proceso de secado anotando la variación de la humedad con el tiempo hasta llegar a peso constante.
- Registrar del resultado final de porcentaje de humedad.

Los resultados correspondientes serán presentados en el CAPÍTULO IV, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

Fig. 3 - 3 Secador infrarrojo SARTORIUS MA 100.



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

De igual manera los resultados de este análisis fueron corroborados por profesionales encargados, del laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo, CEANID.

3.2.2. Determinación del porcentaje de Cenizas en las semillas de Amarantho

Este análisis, fue realizado por los profesionales encargados del laboratorio del Centro de Análisis de Investigación y Desarrollo, CEANID.

El procedimiento empleado para determinar el porcentaje de cenizas se detalla a continuación:

- Lavar los crisoles con HCl (1:1), para eliminar las impurezas.
- Calcinar en la mufla a 550 °C durante 30 minutos.
- Dejar enfriar y registrar el peso W_1 .
- Pesar en un crisol debidamente tarado, una cantidad de muestra equivalente a 5 gr.
- Registrar los datos W_2 .
- Incinerar hasta que las cenizas adquieran un color blanquecino grisáceo.
- Dejar enfriar.
- Retirar con pinzas al desecador, y mantener durante espacio de 45 minutos.
- Registrar peso W_3 .

Los cálculos del porcentaje de cenizas, se realizan aplicando la siguiente ecuación:

$$\%Cenizas = \frac{W_3 - W_1}{W_2} \times 100$$

Dónde:

W1: Peso del crisol vacío.

W2: Masa de la muestra.

W3: Peso del crisol con residuo.

Los resultados serán presentados en el CAPÍTULO IV, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.3. DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS Y MATERIAL DE LABORATORIO UTILIZADOS EN LA OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE DE AMARANTO (*Amaranthus Caudatus L.*) CULTIVADO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

La presente investigación desarrollará un proceso experimental, que será llevado a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho, para realizar la obtención de aceite vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), se requerirá de Equipos, Instrumentos y Materiales de laboratorio que serán detallados a continuación:

3.3.1. Descripción de los equipos de los equipos de laboratorio

Los equipos de laboratorio requeridos para llevar a cabo la fase experimental del presente proyecto, son:

- **Molino de Martillos:** El molino de martillos es una máquina destinada para procesos como trituración y molienda, es un tipo de molino de impacto o percusión, tienen la ventaja de ser capaz de procesar muchos tipos de materiales, así como la producción de partículas de diversos tamaños, simplemente cambiando la pantalla de salida. Se utilizó para la reducción de tamaño de la materia prima (semilla de amaranto), consiguiendo de esta manera aumentar la superficie de contacto, facilitando el proceso de extracción

Fig. 3 - 4 Molino de Martillos



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **Tamiz:** Equipo destinado para separar terrones, grumos e impurezas de la materia prima en operaciones de transporte por vacío de polvos y granulados. El tamiz vibratorio se utilizó para la clasificación granulométrica de la muestra. Se empleó un juego de mallas de 1; 0,500; 0,250 y 0,063 mm y una bandeja de recipiente de muestra.

Fig. 3 - 5 Tamiz vibratorio y mallas



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **Equipo de Extracción Soxhlet:** El extractor Soxhlet es un equipo que está compuesto por una serie de materiales (refrigerante, calentador, extractor y mangueras), que es empleado para la extracción de la materia grasa presente en la muestra sólida.

El equipo Soxhlet empleado para este Proyecto, fue diseñado, ensamblado y adaptado en el Laboratorio de Operaciones Unitarias de la carrera de Ingeniería Química, por el Ing. Juan Pablo Herbas.

El equipo cuenta con un refrigerante de vidrio, que mide aproximadamente 35 cm de largo en cuyo extremo se encuentra conectada la entrada de agua de

enfriamiento y la salida del mismo, un cámara de sólidos, hermética de acero inoxidable en el que se introducen los cartuchos con la muestra a extraer mismo que tiene una capacidad de hasta 1 kg de muestra, todo el sistema se conecta mediante tuberías y codos de PVC, mangueras para la salida y entrada de agua, un brazo en forma de U, soldado con acero inoxidable y una adaptación de manguera, sobrepuesta en el retorno del solvente de la cámara de sólido hasta el balón donde se encuentra con el solvente, un recipiente de tipo balón de acero inoxidable con capacidad de 3 litros, donde se introduce el solvente, y que además cuenta con una adaptación de termocupla digital para realizar el control de la temperatura.

La fuente de calor se activa a través de un calentador digital termostizado.

Fig. 3 - 6 Extractor Soxhlet



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **Estufa:** Equipo utilizado para el calentamiento, acondicionamiento, secado o deshidratación de muestras.

La estufa se utilizó para realizar la evaporación del solvente residual que quedó después de la destilación de la muestra solvente-aceite.

Es un equipo automatizado en el que se introducen y fijan los parámetros de trabajo.

Fig. 3 - 7 Estufa



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **Autoclave:** Equipo para esterilizar por vapor que consiste en un recipiente cilíndrico, de paredes metálicas, y con cierre hermético autoclave, en cuyo interior, contiene un líquido, el objeto se somete a presiones y temperaturas elevadas sin llegar a hervir. Fue utilizado para la esterilización de todos los instrumentos, y materiales utilizados en el proyecto.

Fig. 3 - 8 Autoclave



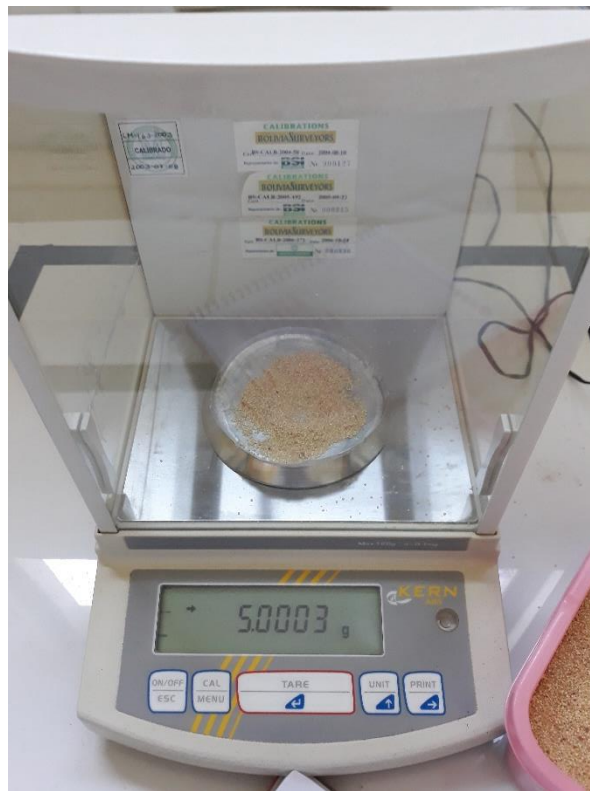
Fuente: Elaboración Propia, 2020.

3.3.2. Descripción de los Instrumentos de laboratorio

- **Balanza Analítica:** Una balanza analítica es un tipo de balanza de laboratorio diseñada para medir pequeñas masas, en un principio de un rango menor del gramo de error.

La balanza se utilizó para el pejase la muestra, durante el proceso.

Fig. 3 - 9 Balanza Analítica



Fuente: Elaboración Propia, 2020

- **Balanza Digital:** Son instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático que utilizan la acción de la gravedad para determinación de la masa. Se compone de un único receptor de carga (plato) donde se deposita el objeto para medir.

La balanza digital se utilizó para realizar el pesaje de la muestras de materia prima, así como de la harina procesada.

Fig. 3 - 10 Balanza Digital



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **Termocupla (Termómetro Digital):** Instrumento digital, ocupado para control de temperatura. Adaptado al Extractor Soxhlet.

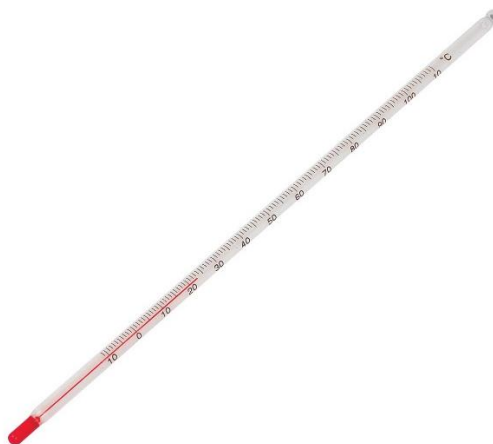
Fig. 3 - 11 Termómetro Digital



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **Termómetro:** Instrumento que sirve para medir la temperatura; el más habitual consiste en un tubo capilar de vidrio cerrado y terminado en un pequeño depósito que contiene una cierta cantidad de mercurio o alcohol, el cual se dilata al aumentar la temperatura o se contrae al disminuir y cuyas variaciones de volumen se leen en una escala graduada.

Fig. 3 - 12 Termómetro



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

- **Calentador Digital:** Sistema de calentamiento Infrarrojo, control digital. Fuente de calor, para Extractor Soxhlet

Fig. 3 - 13 Calentador Digital






Fuente: Elaboración Propia, 2020.

3.3.3. Descripción de los Materiales de Laboratorio

A continuación se detallará el material de laboratorio utilizado para la Extracción experimental de Aceite Crudo de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*)

Cuadro III-1 Material de Laboratorio empleado en la Extracción de Aceite de Amaranto

Material de laboratorio	
Vasos de Precipitación	
Probeta	
Espátula	

<p>Varilla</p>	
<p>Caja Petri</p>	
<p>Embudo</p>	

<p>Vidrio de Reloj</p>	
<p>Jarra graduada</p>	
<p>Frascos de Almacenamiento</p>	

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

3.4. DESCRIPCIÓN DE LOS REACTIVOS QUÍMICOS UTILIZADOS

3.4.1. Solvente (Alcohol Etílico) Etanol: Reactivo químico utilizado como solvente en la extracción de aceite crudo vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija.

Tabla III-1 Especificaciones del Etanol

Propiedades Físico - químicas	
Fórmula	CH ₃ -CH ₂ -OH
Aspecto	Transparente e Incoloro
Olor	Característico
Peso Molecular	46,070 g/mol
Composición	C: 52,240 %; H: 13,130 % y O: 34,730 %.
Densidad	0,810 g/ml
Punto de Ebullición	78,3 °C
Punto de Fusión	-114,1 °C
Temperatura Crítica	241 °C
Presión Crítica	63 atm
Rango de inflamabilidad	3% - 19%
Solubilidad	Miscible en agua
Tipo	Alcohol grado Técnico
Marca	AlcoSur

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental es una técnica estadística, que tiene por objetivo principal definir el número de pruebas que se van a realizar en una investigación manipulando dos o más variables independientes (factores) del sujeto de estudio y según esto observar los cambios que se producen en la variable respuesta.

Se denomina factor a la variable que se supone ejerce influencia sobre la variable estudiada, o variable des respuesta.

Para que la metodología de diseño de experimentos sea eficaz es fundamental que el experimento esté bien diseñado por alguno de los siguientes motivos.

- Determinar cuáles son las variables que tienen mayor influencia en la variable respuesta.
- Determinar el mejor valor de las variables controlables que influyen en la respuesta.
- Determinar la mejor combinación de las variables controlables que influyan en la variable respuesta.

3.6. DISEÑO FACTORIAL

Los diseños factoriales, son ampliamente utilizados en experimentos en los que intervienen varios factores para estudiar el efecto conjunto de estos sobre una respuesta. Se conocen métodos generales para el análisis de diseño factorial, sin embargo, existen varios casos de diseño factorial general que resulta importante en el trabajo de investigación y porque constituye la base para otros diseños de gran valor práctico. (Montgomery, D. 1991)

En el diseño factorial se realizan todas las combinaciones posibles de los niveles de varios factores o variables que intervienen en el experimento. El diseño factorial empleado está basado en "n" niveles. Estos factores pueden ser cuantitativos como sería el caso de los valores de temperatura, tiempo o presión. También puede ser cualitativo tal y como sería de dos máquinas, dos operadores. (Montgomery, D. 1991)

El diseño planteado para la presente investigación es un diseño 3^2 , es decir, que consta de dos factores con 3 niveles cada uno de ellos, y se evalúa la influencia sobre una variable respuesta.

Se repite la experiencia dos veces para validación de resultados.

3.6.1. Planteamiento del Diseño Factorial

Para llevar a cabo el diseño experimental se tomaron en cuenta las siguientes hipótesis.

- Existe diferencia, en cuanto a los niveles de variación en el tiempo de extracción.
- Existe diferencia, en cuanto a los niveles de variación en la temperatura de extracción.

Por tanto:

Factor A: Tiempo de extracción.

Factor B: Temperatura de extracción.

3.6.2. Variables del Diseño Factorial

Las variables manipulables en el proceso de obtención experimental de aceite crudo de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el de departamento de Tarija son:

- Tiempo de Extracción:

Variable, a controlar, que incide directamente, en el rendimiento de la extracción.

- Temperatura:

Variable, a controlar, que a su vez varía de acuerdo al tipo de reactivo a usar, y que incide en el rendimiento de la extracción.

La variable de respuesta, en el proceso de obtención experimental de aceite crudo de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el de departamento de Tarija es:

- Rendimiento de las extracciones:

Variable de respuesta, Porcentaje de aceite extraído/masa de semillas trituradas de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*)

Cabe mencionar además que para llevar a cabo el desarrollo de parte experimental del presente proyecto, se mantuvo constante una variable más:

- Granulometría: Tamaño de partícula, 0,500 mm.

Se define como granulometría a la distribución de los tamaños de las partículas de un agregado, tal como se determina por análisis de tamices.

Se determinó el tamaño óptimo una vez que se obtuvieron las semillas molidas, se sometieron las mismas a un proceso de tamizado, mismo que fue llevado a cabo en un tamiz vibratorio, empleando tamices con mallas de diversas dimensiones 1 mm, 0,500 mm, 0,250 mm y 0,063 mm, el procedimiento se llevó a cabo ingresando las semillas molidas, mismas que pasaron por todas las mallas, de mayor a menor, se accionó el equipo y se deja trabajar durante 20 minutos y a través de los movimientos producidos por las ondas vibratorias las semillas se van reteniendo, en las mallas de los tamices. El mejor rendimiento se obtiene con la malla de 0,500 mm.

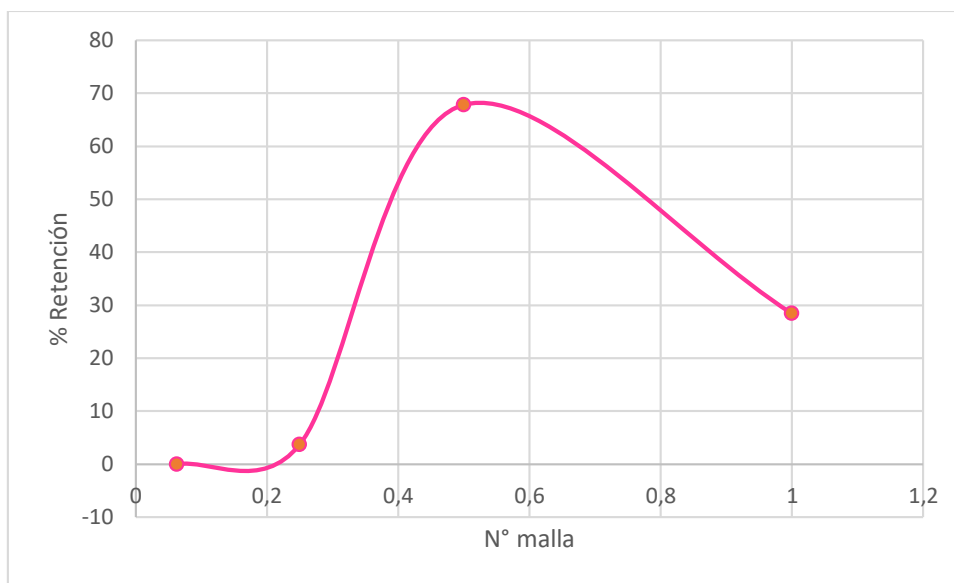
Para llevar a cabo esta prueba se ingresaron 200 g de muestra de semilla molida, al tamiz.

Tabla III-2 Análisis Granulométrico de la Materia

Abertura de malla (mm) serie UNE	Peso Malla vacía (g)	Peso Malla con muestra (g)	Retención	% Retención
1	433,500	490,400	56,900	28,450
0,5	443,900	579,600	135,700	67,850
0,25	417,900	425,300	7,400	3,700
0,063	389,600	389,600	0	0
Total			200	

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Fig. 3 - 14 % Retenido vs N° malla



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

3.6.3. Niveles del Diseño Factorial y Construcción del Diseño Factorial

Teniendo en cuenta, las variables identificadas pasamos a determinar el número de repeticiones experimentales:

$$3^1 * 3^1 = 9 \text{ pruebas}$$

En base a este diseño experimental, se realizaron 18 experimentos elementales en el proceso de extracción.

Tabla III-3 Factores y dominio experimental de las variables de estudio para Alcohol Etilico

Factores	Dominio experimental		
	Nivel (-1)	Nivel (0)	Nivel (+1)
A= Tiempo (h)	4	6	8
C= Temperatura (°C)	60	70	80

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Donde se consideró:

Bajo (-): El valor más pequeño con el que se trabaja.

Medio (0): El valor medio con el que se trabaja.

Alto (+): Es el valor alto con el que se trabaja.

3.6.4. Número de Combinaciones del Diseño Factorial

Tabla III-4 Construcción de la matriz de diseño

N° Ensayos	Matriz Experimental		Plan de Experimentación		Variable de Respuesta Yn Rendimiento %
	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	
1	-1	-1	4	60	Y ₁
2	-1	0	4	70	Y ₂
3	-1	1	4	80	Y ₃
4	0	-1	6	60	Y ₄
5	0	0	6	70	Y ₅
6	0	1	6	80	Y ₆
7	1	-1	8	60	Y ₇
8	1	0	8	70	Y ₈
9	1	1	8	80	Y ₉
10	-1	-1	4	60	Y ₁₀
11	-1	0	4	70	Y ₁₁
12	-1	1	4	80	Y ₁₂
13	0	-1	6	60	Y ₁₃
14	0	0	6	70	Y ₁₄
15	0	1	6	80	Y ₁₅
16	1	-1	8	60	Y ₁₆
17	1	0	8	70	Y ₁₇
18	1	1	8	80	Y ₁₈

Fuente: Elaboración propia, 2020.

En función a los factores evaluados, la variable respuesta será el % Porcentaje de Rendimiento del aceite obtenido.

3.7. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO A SER EMPLEADA

3.7.1. Descripción de la Metodología del Estudio

La metodología de estudio es la parte científica de la investigación, en donde se describirá la aplicación de métodos, técnicas, sistematización de datos y procedimientos. Esta investigación es el producto de un trabajo veraz, ordenado y objetivo, para el efecto se utilizó metodología de carácter científico de gran beneficio para la eficiencia de los resultados.

La metodología a ser empleada en el presente proyecto fue investigación aplicada de carácter experimental.

La metodología empleada está diseñada bajo el marco normativo vigente y el alcance establecido, de acuerdo a esto para cumplir cada objetivo específico se otorga el tratamiento respectivo para desarrollar el proyecto.

Se recurrió a fuentes bibliográficas para la elaboración del marco teórico de la extracción de aceite vegetal crudo de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*) en el Valle central del departamento de Tarija.

Para la Caracterización de la materia prima Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*) existente en el departamento de Tarija, se recurre a datos bibliográficos, se requirió la elaboración de un perfil taxonómico de la especie objeto del estudio, además se detalla características fisicoquímicas, se apoya los datos con análisis para la determinación de humedad y cenizas presentes en la materia prima, dichos análisis fueron llevados a cabo en el laboratorio del CEANID.

Posteriormente, se analizó y determinó el proceso más adecuado para la obtención de aceite vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*), a través de la evaluación de los diversos métodos para realizar la obtención, una vez escogido el proceso más adecuado, se utilizó el equipo seleccionado de acuerdo al proceso elegido anteriormente.

La fase experimental, es una de las metodologías de estudio más importantes del presente trabajo de investigación, ya que, al llevar a cabo las experiencias, se tendrá una colección de datos que se utilizaran para la manipulación y las pruebas controladas para entender los procesos causales.

En general, una o más variables serán manipuladas para determinar su efecto sobre una variable dependiente.

Este método se encuentra conformado con diferentes fases que contribuyen a su exitoso proceso, y por eso, es uno de los métodos más elegidos en los trabajos de investigación aplicada, sus fases son:

- **Definición de variables.**

Las Variables Independientes y las Variables Dependientes son especificadas a lo largo del trabajo de investigación, se deben definir de tal manera que sean claras y estén exentas de ambigüedades; deben ser definidas operacionalmente.

- **Diseño experimental.**

Una vez determinados los niveles y factores de las variables, se selecciona el modelo más adecuado para una mejor distinción de resultados.

- **Procedimiento y recogida de datos.**

El procedimiento para llevar a cabo la fase de obtención de datos de un experimento debe describirse con todo detalle (tratamiento, proceso, registro de respuestas, etc.).

- **Tratamiento estadístico de los datos.**

Los datos del experimento generalmente son sometidos a análisis estadísticos. Esta fase de la experimentación se ha hecho cada vez más importante. Se han desarrollado técnicas estadísticas muy confiables. De algún modo debe ser evaluada la confiabilidad o significancia del experimento.

- **Replicación.**

Repetir el experimento de 2 veces para corroborar los resultados obtenidos.

Finalmente, una vez obtenido el producto (Aceite Crudo Vegetal de Amaranto) se llevará una muestra para sus diferentes pruebas y así realizar la caracterización Físicoquímica como ser, densidad, acidez, índice de refracción, determinación de proteínas, determinación del índice de Yodo, elaboración del perfil de ácidos grasos mediante análisis cromatográfico gaseoso de dicho producto.

Al obtener los resultados, se procede a la redacción de las recomendaciones y conclusiones, del trabajo elaborado.

Se concluye dando respuesta satisfactoria a todos los objetivos planteados en la investigación, además de lograr nutrir los avances científicos y aplicar los conocimientos que se adquirieron a lo largo de la carrera universitaria.

A continuación, se realiza una descripción esquemática de la Metodología de Estudio:

Cuadro III-2 Metodología del Estudio

Nivel de Investigación	Investigación Exploratoria: Es aquella que se efectúa sobre un tema u objeto poco conocido o estudiado, por lo que sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto. Se utilizará el método exploratorio debido a que brinda una perspectiva general de tipo aproximativo con respecto a la realidad.
	Investigación Descriptiva: Consiste en la caracterización de un hecho, fenómeno o suposición estableciendo su estructura o comportamiento. Se mide de forma independiente las variables, los objetivos de investigación, relaciona condiciones existentes, prácticas, y procesos vigentes.
	Investigación Explicativa: Se encarga de buscar el porqué de los hechos mediante el establecimiento de relaciones causa-efecto.
Diseño de Investigación	Investigación Documental: Es aquella que se basa en la obtención y análisis de datos provenientes de materiales impresos u otros tipos de documentos, fuentes de información secundaria.

	<p>Investigación Experimental: proceso que consiste en someter a un objeto de estudio a determinadas condiciones o estímulos (variable independiente), para observar los efectos que se producen (variable dependiente).</p> <p>Se utilizará este método, debido a que se manipularan diversas variables independientes y dependientes, sometiéndolas a cambios y realizando comparaciones de las variables dependientes. Este método se basa en el manejo y control de variables.</p>
Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos	En este punto se describen las distintas operaciones a las que serán sometidos los datos que se obtengan: clasificación, registro, tabulación y codificación si fuere el caso.
Propósito de la Investigación	Aplicada, se utilizará una investigación aplicada ya que está dirigida a solución de problemas prácticos, además de la invención o mejora de productos existentes en el mercado.
Presentación de Resultados	En esta etapa, se presentan las conclusiones del trabajo, una vez procesados los datos recabados en la investigación, se presentan los resultados.

Fuente: Elaboración propia, en base a información bibliográfica, 2019.

3.8. DESCRIPCIÓN DE LAS ETAPAS DEL PROCESO DE OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE CRUDO DE AMARANTO (*Amaranthus Caudatus L.*)

A continuación se detallan las fases del Proceso de Obtención Experimental del aceite:

- Acondicionamiento de la Materia Prima

Para llevar a cabo el presente proyecto, la parte experimental, comprende dos etapas, la primera consiste en una etapa de Preparación de la muestra, para ello primero se realiza un acondicionamiento de la muestra, se selecciona y limpia la muestra con el objetivo de eliminar posibles impurezas.

- Molienda

Posteriormente se obtiene harina de Amaranto, a través de un proceso de molienda, mismo que es llevado a cabo en un molino eléctrico de martillos, finalmente, la harina pasa a ser tamizada.

- Extracción del Aceite

Esta etapa consiste en la extracción del aceite de Amaranto, misma que es llevada a cabo en un equipo de extracción Soxhlet, y se recupera el solvente utilizado mediante proceso de destilación.

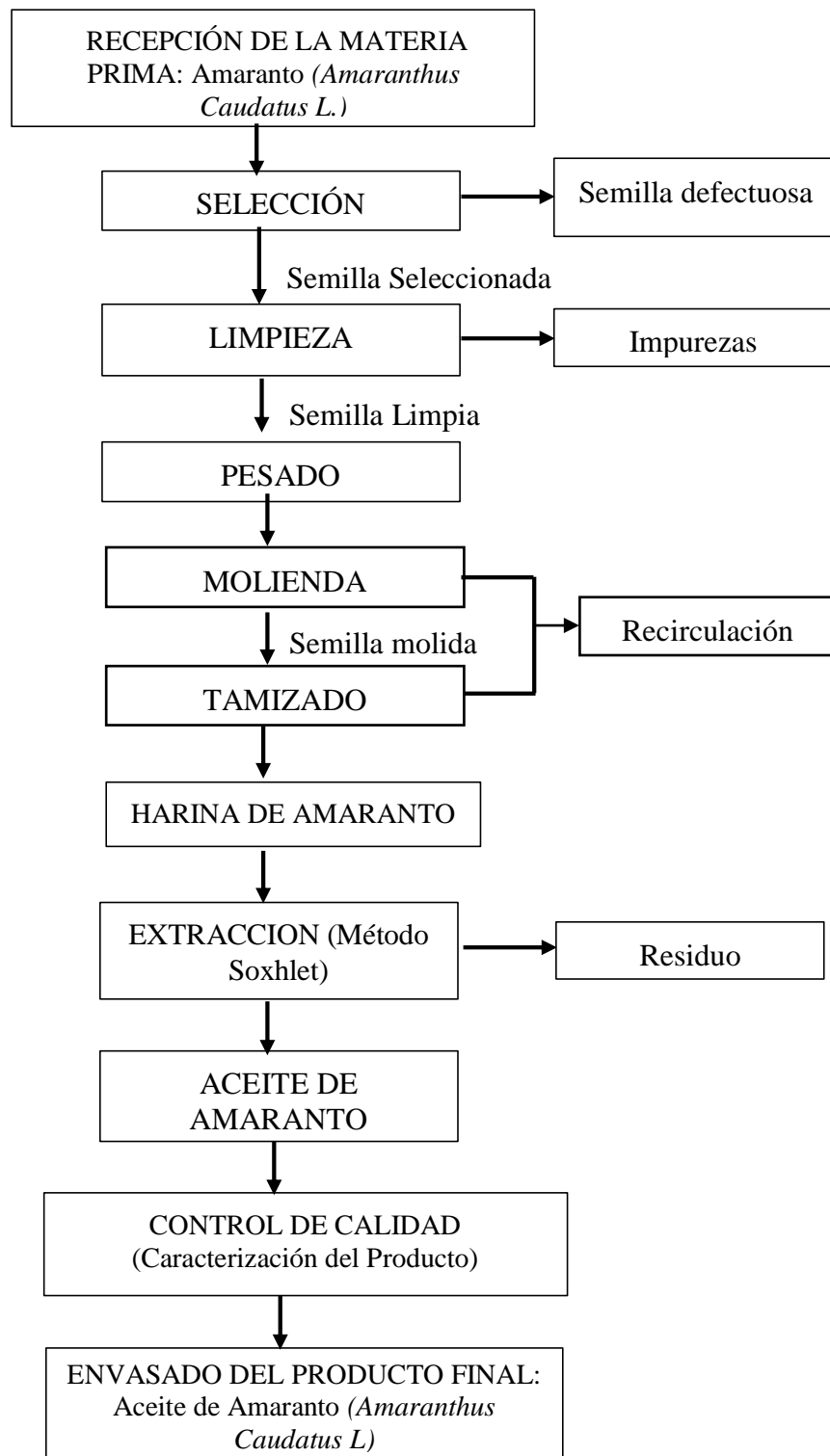
Todas las etapas del proceso de obtención de aceite crudo de Amaranto, fueron llevadas a cabo en las instalaciones de Laboratorio de Operaciones Unitarias, de la Carrera de Ingeniería Química, UAJMS.

- Control de Calidad

Una vez obtenida la muestra final del Producto, aceite de amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) se realiza su caracterización y se somete a análisis, mismos que fueron realizados por el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) Cochabamba, Bolivia.

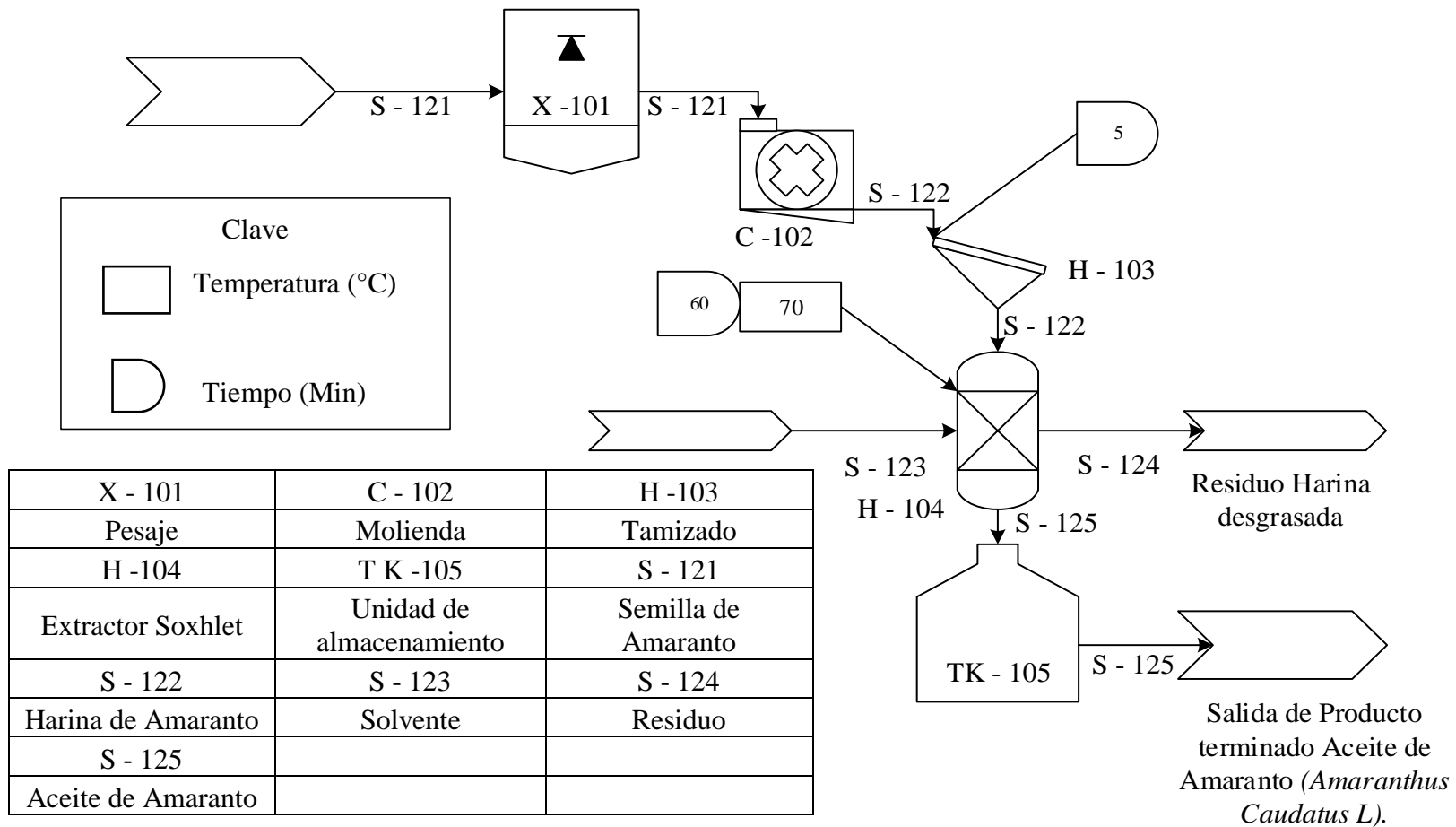
El diagrama de bloques del Cuadro III - 3, muestra las diferentes etapas del proceso de obtención experimental de aceite crudo vegetal de Amaranto, mediante el método de extracción por solvente, Soxhlet

Cuadro III-3 Diagrama de Bloques, Proceso de Obtención de aceite de Amaranto



Fuente: Elaboración Propia, en base a información recabada en bibliografía, 2019

Fig. 3 - 15 DIAGRAMA DE FLUJO PROCESO DE OBTENCIÓN EXPERIMENTAL DE ACEITE CRUDO DE AMARANTO
(*Amaranthus Caudatus L.*)



Fuente: Elaboración Propia, en base a información bibliográfica, 2019

3.8.1. Recolección y Selección de materia prima

La materia prima que se utilizó para llevar a cabo la obtención de aceite crudo de amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), es proveniente de la comunidad de Santa Ana, fue adquirida por un distribuidor del mercado local de la ciudad de Cercado, Tarija, Bolivia.

Se recibió la materia prima, se pasó por un proceso de cernido, y se retiró, los granos que presenten algún tipo de defecto que pueda afectar a la realización de la parte experimental.

3.8.2. Limpieza

Se realizó una limpieza manual de las semillas, para eliminar impurezas presentes, tales como polvo, piedrecillas, etc.

Fig. 3 - 16 Selección y Limpieza de la Materia Prima



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3.8.3. Pesaje

Se realizó el pesaje de las semillas, y se registró, la cantidad requerida para proceder a moler.

Fig. 3 - 17 Semilla de Amaranth acondicionada y lista para proceso de Molienda.



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3.8.4. Molienda

Usualmente el proceso previo a la molienda es el secado, pero debido a que la semilla de Amaranth, solamente contiene 9% de humedad, no es necesario realizar el secado de la misma, y se somete directamente a molienda.

El objetivo principal de la molienda es producir pequeñas partículas a partir de otras de mayor dimensión.

El proceso de molienda se llevó a cabo, en un molino eléctrico de martillos, para esto se ingresó la materia prima al molino, se accionó a través de un interruptor y se procedió a realizar la molienda.

Fig. 3 - 18 Molienda de Semillas de Amaranto en Molino de Martillos



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3.8.5. Tamizado

Una vez que se obtuvieron las semillas molidas, se sometieron las mismas a un proceso de tamizado, mismo que fue llevado a cabo en una tamiz vibratorio, empleando tamices con mallas de diversas dimensiones 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm y 0,063 mm, el procedimiento se llevó a cabo ingresando las semillas molidas, mismas que pasaron por todas las mallas, de mayor a menor, se accionó el equipo y se deja trabajar durante 20 minutos y a través de los movimientos producidos por las ondas vibratorias las semillas se van reteniendo, en las mallas de los tamices. El mejor rendimiento se obtiene con la malla de 0,5 mm.

Fig. 3 - 19 Proceso de Tamizado de la Harina de Amaranto



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Una vez finalizado el tamizado, se procedió a almacenar temporalmente la harina de Amaranto en bolsas plásticas con cierre ziploc, cada Bolsa fue rotulada de forma correspondiente, a medida de que se realizaba la obtención.

Para una mejor conservación, se trasladaron las bolsas a un ambiente inocuo, fresco y limpio, en instalaciones de la segunda Planta del Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Carrera de Ingeniería Química, de la UAJMS.

Fig. 3 - 20 Harina de Amaranto



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3.8.6. Extracción

Se realizó la obtención del aceite a través del método Soxhlet, extracción por solvente. Para llevar a cabo la extracción del aceite crudo vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija, se utilizó como solvente Etanol al 96% (Alcohol Etilico).

Primero, se pesó 1 000 gramos de harina de Amarantho, con la ayuda de una espátula, se introducen dentro del cartucho. Se utilizaron cartuchos elaborados con doble capa de Papel Filtro, con la finalidad de evitar que la harina de Amarantho, tienda a flotar y sea arrastrada por el solvente en el proceso de extracción.

Los cartuchos se codificaron de acuerdo a las muestras experimentales.

Fig. 3 - 21 Cartucho preparado para extracción



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Posteriormente se introdujo el solvente Etanol al 96%, dentro del recipiente tipo balón trabajando con una relación de 1:2,5 es decir 250 ml de solvente por 1 000 g de harina de amaranto, esta relación es muy importante debido a que cuando el vapor del Etanol ascienda a la cámara donde se encuentra nuestro cartucho, el balón no quede seco, y se corra riesgo de provocar alteraciones que generen afecciones en el proceso o accidentes.

Una vez el equipo de extracción está armado se procedió a calentar y llevar el solvente a punto de ebullición; el vapor generado asciende a través de la conexión de tubo PVC, llega hasta el refrigerante, donde el vapor se condensa por contacto con el agua fría, la misma desciende en forma de gotas, dentro de la cámara donde se encuentran el cartucho con la muestra, es en esta etapa donde entra en contacto la harina de Amaranto con el solvente, a medida que va condensando va cayendo, la cámara se va llenando con solvente, una vez ha llegado al tope del sifón la mezcla aceite-solvente retorna al balón.

Se repite el mismo proceso la cantidad de tiempo necesario hasta que la muestra quede agotada.

Fig. 3 - 22 Extracción de Aceite Crudo Vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija.



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

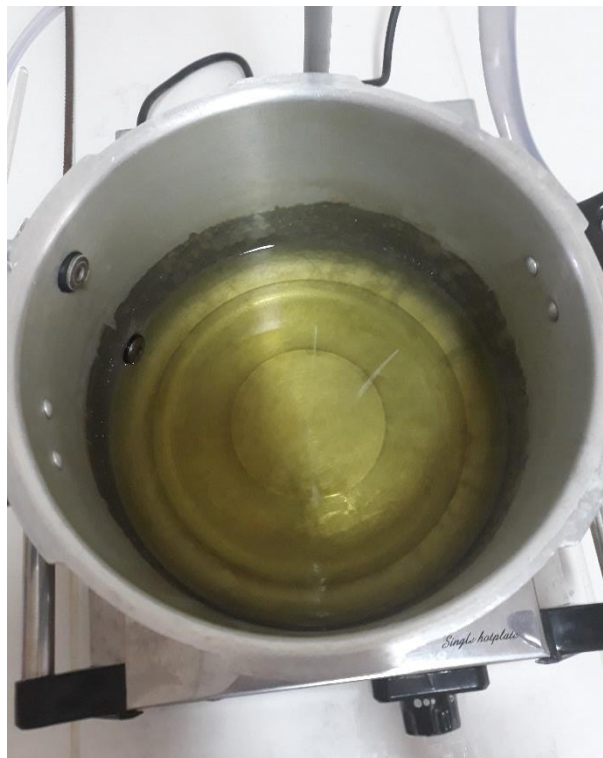
Terminado el proceso de extracción se obtiene la materia prima desaceitada denominada harina desgrasada y la mezcla aceite solvente.

Fig. 3 - 23 Harina de Amaranto Desgrasada



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Fig. 3 - 24 Mezcla Aceite - Solvente



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3.8.7. Destilación

La mezcla aceite-solvente, se sometió a un proceso de destilación con la finalidad de separar el aceite y lograr la recuperación del solvente.

Se realizó una destilación simple, utilizando el mismo equipo, el proceso se lleva a cabo a una temperatura de 73,9 °C, transcurridos alrededor de 15 minutos aproximadamente, el solvente empieza a evaporarse, pasando por el refrigerante, y saliendo hacia el balón, se recolectó de manera paulatina el solvente recuperado.

El proceso dura aproximadamente 90 minutos, cuando se observa una buena recuperación del solvente.

Fig. 3 - 25 Destilación y Recuperación del Solvente



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3.8.8. Aireación

La muestra de aceite fue llevada a una estufa para evaporar el Etanol residual que hubiera quedado dentro del mismo.

Fig. 3 - 26 Aireación del Solvente.



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3.8.9. Almacenamiento

Se almacenó temporalmente el producto en recipientes adecuados, para llevarlo a ser analizado y caracterizado.

Fig. 3 - 27 Almacenamiento del Aceite Crudo Vegetal de Amaranto



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

Fig. 3 - 28 Muestra Final Aceite de Amaranto, obtenido con Etanol al 96%



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

3.9. Caracterización de Aceite crudo vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija.

3.9.1. Características Organolépticas

Una vez obtenido el aceite crudo vegetal de Amaranto, se procede a analizar sus características organolépticas, las cuales son color, olor y sabor.

- **Color:** Por simple observación se registra el color del aceite crudo, el cual es un color amarillo.
- **Olor:** Se acerca el frasco que contiene el aceite crudo a la nariz para percibir el olor, este es un olor característico a coime, fuerte y penetrante.
- **Sabor:** Se sacan del frasco unas gotas de aceite crudo con la ayuda de una varilla de vidrio y se toca levemente con un dedo para luego acercar a la punta de lengua, presenta un sabor característico, ligeramente amargo.

3.9.2. Características Fisicoquímicas

Para la caracterización Fisicoquímica, la muestra fue enviada para su análisis correspondiente a los laboratorios del Centro de Investigaciones Químicas (CIQ) Cochabamba, Bolivia.

Los análisis fueron realizados por el encargado de Laboratorio, bajos los estándares y procedimientos establecidos en dicha institución.

Los Análisis Realizados a la muestra final de Aceite crudo vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija, fueron:

- Densidad
- Calcio
- Fósforo
- Cloruros
- Proteínas
- Índice de Saponificación
- Índice de Yodo
- Índice de Peróxidos
- Índice de Acidez
- Grados Brix
- Cromatografía Gaseosa: Perfil de Ácidos Grasos

Los resultados de los análisis realizados, serán presentados en el CAPÍTULO IV, RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA

Los análisis de la materia prima son los siguientes:

- Determinación de humedad.
- Determinación del contenido de Cenizas
- Perfil Taxonómico

4.1.1. Determinación del contenido de Humedad

Se realizó el análisis de determinación del contenido de humedad en el analizador infrarrojo SARTORIUS MA 100 en el Laboratorio de Operaciones Unitarias, de la Carrera de Ingeniería Química, UAJMS.

El procedimiento empleado para determinar el contenido de humedad se detalla a continuación:

- Pesar 5 gr de semillas en la balanza del analizador.
- Programar el equipo a 105 °C.
- Iniciar el proceso de secado anotando la variación de la humedad con el tiempo hasta llegar a peso constante.
- Registrar del resultado final de porcentaje de humedad.

El porcentaje de humedad presente en la materia prima, Semilla de Amaranto, (*Amaranthus Caudatus L.*), producida en la Primera sección del departamento de Tarija, cantón Santa Ana, Comunidad El Portillo, fue **9,650 %**,

En la siguiente tabla se muestran los datos registrados de porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo de la Semilla de Amaranto.

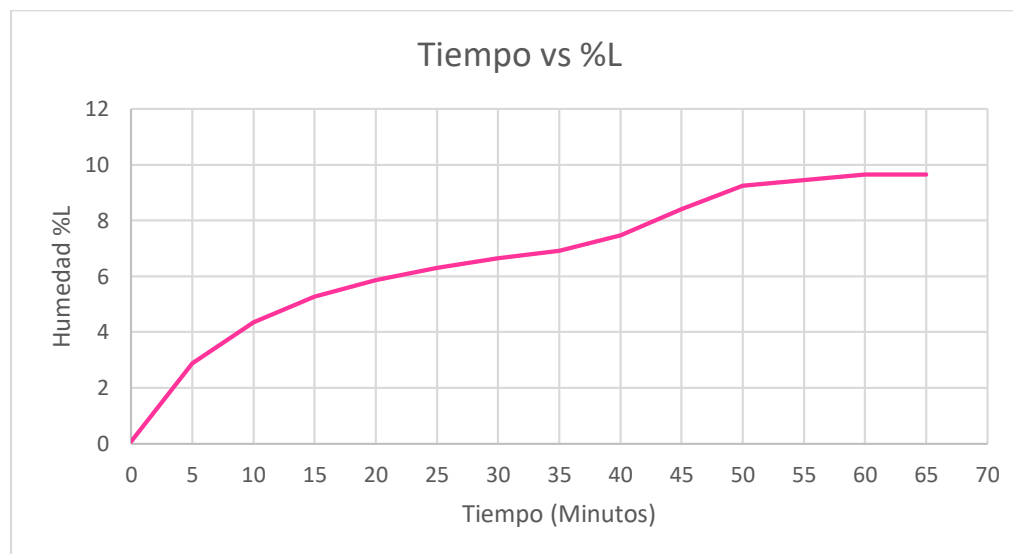
Tabla IV-1 Variación del porcentaje de humedad evaporada respecto al tiempo

Tiempo (minutos)	% L
0	0,070
5	2,880
10	4,350
15	5,270
20	5,870
25	6,310
30	6,650
35	6,920
40	7,470
45	8,410
50	9,240
60	9,650
65	9,650

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

En la siguiente figura se representa la variación del Porcentaje de Humedad (%L), respecto al Tiempo.

Fig. 4- 1 Variación de la Humedad Respecto al Tiempo



Fuente: Elaboración Propia, 2019.

De igual manera, se corroboran los datos mediante análisis realizado bajo los criterios especificados en la Norma Boliviana, NB 313010:05, por el personal del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID de la U.A.J.M.S.

Los resultados de análisis realizados por el CEANID, dictan que el porcentaje de humedad de la muestra, fue de **9.680 %**.

Tabla IV-2 Resultados Contenido de Humedad en Semillas de Amaranto.

Resultados Físico Químicos			
Parámetro	Técnica/Método De Ensayo	Unidad	Resultado
Humedad	NB 313010:05	%	9,680

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID, 2019. (VER ANEXO).

4.1.2. Determinación del Contenido de Cenizas

El análisis para la determinación del contenido de Cenizas presente en la muestra, fue realizado bajo los criterios especificados en la Norma Boliviana NB 39034:10, por el personal del Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID de la U.A.J.M.S. El resultado del análisis para la determinación del contenido de Cenizas presente en la muestra de materia prima, Semilla de Amaranto, (*Amaranthus Caudatus L.*), producida en la Primera sección del departamento de Tarija, cantón Santa Ana, Comunidad El Portillo, fue **2,770 %**.

Tabla IV-3 Resultados Contenido de Cenizas en Semillas de Amaranto

Resultados Físico Químicos			
Parámetro	Técnica/Método De Ensayo	Unidad	Resultado
Cenizas	NB 39034:10	%	2,770

Fuente: Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID, 2019. (VER ANEXO).

En la siguiente Tabla, se muestran los resultados de la caracterización fisicoquímica de la materia prima, es decir, Semilla de Amaranto de Tarija, comparado valores obtenidos por Calderón Sonia, en el departamento de La Paz.

Tabla IV-4 Valores obtenidos en la caracterización fisicoquímica de la materia prima, frente a valores en otro departamento de Bolivia

Parámetro	Resultados Materia Prima Tarija	Resultados Materia Prima La Paz	NB – 336004 Amaranto
Humedad	9,680 %	9,360 %	12 %
Cenizas	2,770 %	2,560 %	≤ 3,5%

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Se observa que los resultados de Contenido de Humedad y Cenizas de la materia prima del departamento de Tarija, tienen valores similares a los del de La Paz, y que se encuentra, bajo los límites permisibles de la Norma.

Tabla IV-5 Valores de la Norma NB – 336004:2006 Amaranto

Parámetro	NB – 336004 Amaranto
Humedad	12 %
Cenizas	≤ 3,5%

Fuente: Instituto Boliviano de Normalización y Calidad – IBNORCA, 2020.

4.1.3. Perfil Taxonómico

Se solicitó la elaboración de un Perfil Taxonómico, al Herbario de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales, de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

A continuación, en el Cuadro IV-1 Taxonomía Amaranto (*Amaranthus Caudatus* L.), producido en el departamento de Tarija, se detallan los resultados del perfil taxonómico, solicitado.

Cuadro IV-1 Taxonomía Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), producido en el departamento de Tarija

Reino	Vegetal
Phylum	Telemophytae
División	Tracheophytae
Sub División	Anthophyta
Clase	Angiospermae
Sub Clase	Dicotyledoneae
Grado Evolutivo	Archichlamydeae
Grupo de Ordenes	Corolinos
Orden	Centrospermales
Flia.	Amaranthaceae
Nombre Científico	<i>Amaranthus Caudatus L.</i>
Nombre Común	Coime

Fuente: Herbario, Facultad Ciencias Agrícolas y Forestales, 2019. (VER ANEXO)

4.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el análisis estadístico de los datos del diseño factorial tomado en cuenta, se utilizó el programa SPSS STATISTICS 17.0 (*Statistical Package for the Social Sciences*) para Windows; el cual permite un tratamiento integrado de todas las fases que conlleva el análisis de datos obteniéndose resultados representativos y confiables.

Mediante el análisis de Varianza Univariante, se determina la influencia de los factores tales como; la Temperatura, Tiempo sobre la variable respuesta Rendimiento.

La variable de respuesta de los datos experimentales puede ser expresada a través de la masa de aceite obtenida o del rendimiento de aceite de semilla de Amaranto (expresado en porcentaje), para los fines del análisis estadístico, se tomó como variable respuesta el porcentaje de aceite obtenido, por ser el parámetro que muestra claramente y en forma directa, el rendimiento del proceso y la cantidad de aceite producido,

Los datos introducidos al programa SPSS de acuerdo al diseño experimental planteado se muestran en el siguiente cuadro:

Tabla IV-6 Datos para el análisis de Varianza

N° Ensayos	Matriz Experimental		Variable de Respuesta Y_n Rendimiento %
	Tiempo (h)	Temperatura (°C)	
1	-1	-1	4,440
2	-1	0	4,885
3	-1	1	4,582
4	0	-1	5,543
5	0	0	5,673
6	0	1	5,314
7	1	-1	5,325
8	1	0	5,512
9	1	1	5,142
10	-1	-1	4,579
11	-1	0	4,616
12	-1	1	4,541
13	0	-1	5,324
14	0	0	5,633
15	0	1	5,266
16	1	-1	5,109
17	1	0	5,439
18	1	1	4,888

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

A continuación, se muestran las variables del diseño experimental y el número de experiencias para cada variable registradas por el programa y realizadas en la parte experimental para un diseño 3^2 con los datos y un total de 18 experiencias; siendo 6 ensayos con cada Tiempo fijado y 6 ensayos con cada Temperatura fijada.

Tabla IV-7 Factores inter-sujetos

		N
Tiempo	-1,00	6
	0,00	6
	1,00	6
Temperatura	-1,00	6
	0,00	6
	1,00	6

Fuente: SPSS 17.0, 2020.

A continuación, se detalla el análisis de varianza aplicado para probar la significancia estadística de cada factor sobre el Rendimiento.

Tabla IV-8 Pruebas de los efectos inter – sujetos

Pruebas de los efectos inter-sujetos

Variable dependiente: Rendimiento

Origen	Suma de cuadrados tipo III	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2,752 ^a	8	,344	23,717	,000
Intersección	468,286	1	468,286	32287,400	,000
Tiempo	2,341	2	1,170	80,691	,000
Temperatura	,362	2	,181	12,480	,003
Tiempo * Temperatura	,049	4	,012	,848	,529
Error	,131	9	,015		
Total	471,168	18			
Total corregida	2,882	17			

Fuente: SPSS 17.0, 2020.

En el análisis de varianza, un nivel de significancia menor a 5 % o 0.050 , expresa que la variable o factor influye en la respuesta, es decir implican la posibilidad de que las variables sean significativas sobre el proceso de obtención de aceite crudo vegetal de Amaranato, con una confianza del 95%.

Para encontrar el modelo matemático que mejor represente la experiencia realizada en esta investigación se toman en cuenta los factores e interacciones que sí influyen según resultados del análisis de varianza, y se introducen al programa SPSS.

En la tabla IV – 9, se muestra las variables introducidas y eliminadas a través del programa.

Tabla IV-9 Variables introducidas/eliminadas

Variables introducidas/eliminadas			
Modelo	VARIABLES INTRODUCIDAS	VARIABLES ELIMINADAS	Método
1	Temperatura, T2, tdos, Tiempo ^a	.	Introducir

a. Todas las variables solicitadas introducidas.

b. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 17.0, 2020.

En consecuencia del análisis el programa arroja los siguientes resultados

Tabla IV-10 Ajustes de datos para el modelo lineal general

Resumen del modelo ^b				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	,963 ^a	,928	,912	,1220415

a. Variables predictoras: (Constante), tdos, T2, Tiempo

b. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 17.0, 2020.

Tabla IV-11 Análisis de varianza ANOVA

ANOVA ^b						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	2,674	3	,891	59,842	,000 ^a
	Residual	,209	14	,015		
	Total	2,882	17			

a. Variables predictoras: (Constante), tdos, T2, Tiempo

b. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 17.0, 2020.

A continuación, se muestran los coeficientes del modelo matemático que genera el programa SPSS 17.0, 2020.

Tabla IV-12 Coeficientes

Modelo		Coeficientes ^a						
		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.	Intervalo de confianza de 95,0% para B	
		B	Error típ.	Beta			Límite inferior	Límite superior
1	(Constante)	5,651	,064		87,861	,000	5,513	5,789
	Tiempo	,314	,035	,641	8,920	,000	,239	,390
	T2	-,289	,061	-,340	-4,730	,000	-,420	-,158
	tdos	-,538	,061	-,633	-8,809	,000	-,668	-,407

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 17.0, 2020.

Por lo tanto de la tabla se determinó que el modelo matemático ajustado para el proceso de obtención de aceite crudo vegetal de amaranto, que correlaciona el porcentaje de aceite extraído con las variables, Temperatura, Tiempo y sus respectivas interacciones, para el caso estudiado, es el siguiente:

$$\mathbf{Rendimiento} = 5.651 + 0.314 \mathit{Tiempo} - 0.289 \mathit{Temperatura}^2 - 0.538 \mathit{Tiempo}^2$$

La ecuación relaciona específicamente los niveles de T y t del diseño experimental planteado para esta investigación, de manera que la respuesta R, sea representativa de los resultados obtenidos en la experiencia.

A su vez el programa SPSS, también brinda los siguientes datos estadísticos:

Tabla IV-13 Estadísticos sobre residuos

Estadísticos sobre los residuos ^a					
	Mínimo	Máximo	Media	Desviación típica	N
Valor pronosticado	4,510955	5,651339	5,100578	,3965937	18
Valor pronosticado tip.	-1,487	1,389	,000	1,000	18
Error típico de valor pronosticado	,054	,064	,057	,005	18
Valor pronosticado corregido	4,493927	5,658315	5,100578	,3964995	18
Residual	-,2518389	,1852611	,0000000	,1107509	18
Residuo típ.	-2,064	1,518	,000	,907	18
Residuo estud.	-2,299	1,691	,000	1,025	18
Residuo eliminado	-,3126276	,2299793	,0000000	,1413479	18
Residuo eliminado estud.	-2,808	1,827	-,024	1,132	18
Dist. de Mahalanobis	2,361	3,778	2,833	,687	18
Distancia de Cook	,000	,319	,069	,102	18
Valor de influencia centrado	,139	,222	,167	,040	18

a. Variable dependiente: Rendimiento

Fuente: SPSS 17.0, 2020.

En consecuencia, se comparan los resultados del rendimiento respecto al porcentaje de aceite crudo vegetal de Amaranado obtenido de manera experimental y el rendimiento ajustado, es decir el que predice para la obtención del modelo matemático, donde se observa que no existe varianza mayor al 5%.

El error, es la diferencia existente entre Rendimiento del modelo matemático, es decir el valor ajustado y predicho con el Programa SPSS, y el Rendimiento Experimental, que se obtiene al llevar a cabo los ensayos correspondientes en laboratorio.

Tabla IV-14 Rendimiento Experimental y Rendimiento obtenido con el modelo matemático ajustado.

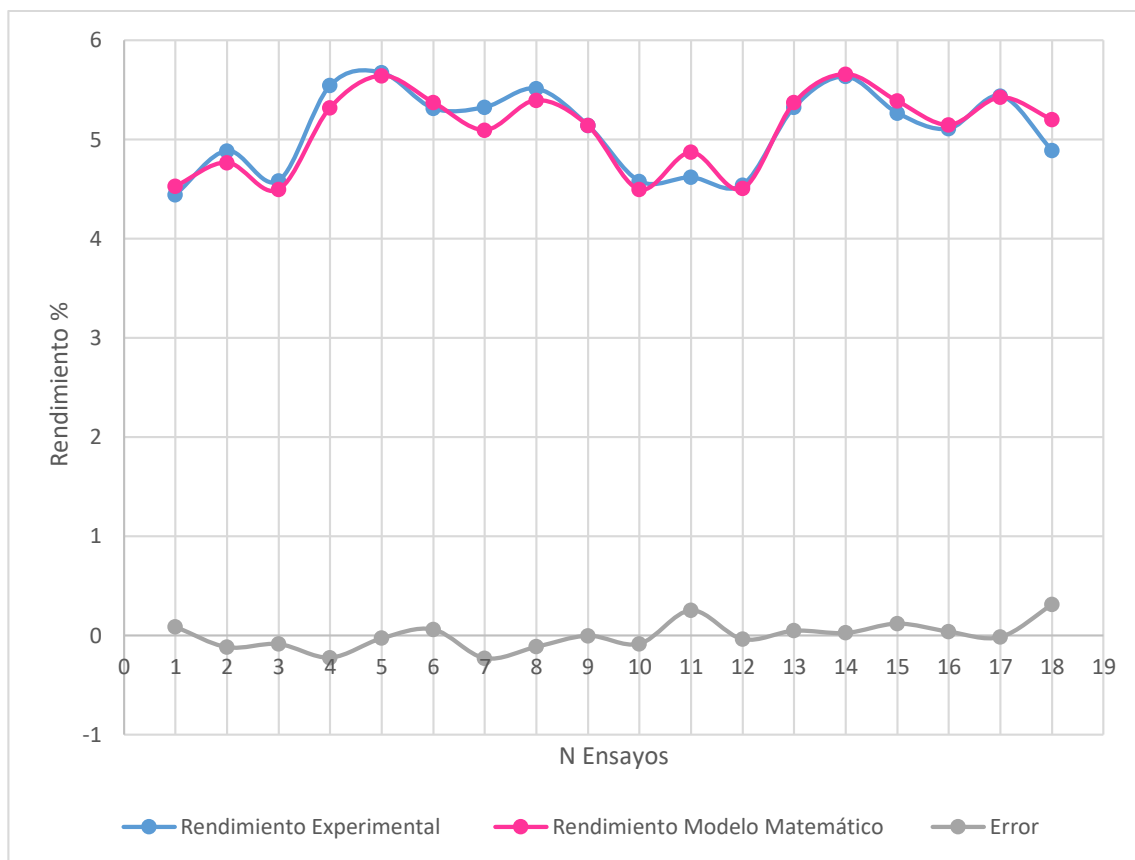
Ensayos	Tiempo	Temperatura	Rendimiento Experimental Rexp	Rendimiento Modelo Matemático Rmm	Error Diferencia Rmm y Rexp
1	-1	-1	4,440	4,528	0,088
2	-1	0	4,885	4,767	-0,118
3	-1	1	4,582	4,494	-0,088
4	0	-1	5,543	5,319	-0,224
5	0	0	5,673	5,643	-0,029
6	0	1	5,314	5,374	0,061
7	1	-1	5,325	5,095	-0,230
8	1	0	5,512	5,396	-0,116
9	1	1	5,142	5,139	-0,003
10	-1	-1	4,579	4,495	-0,084
11	-1	0	4,616	4,870	0,254
12	-1	1	4,541	4,504	-0,037
13	0	-1	5,324	5,372	0,047
14	0	0	5,633	5,658	0,025
15	0	1	5,266	5,386	0,120
16	1	-1	5,109	5,147	0,038
17	1	0	5,439	5,424	-0,015
18	1	1	4,888	5,200	0,313

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Como se puede observar el ensayo número 5 y su réplica respectiva, ensayo número 14, son con los que se consigue un valor mayor de Rendimiento en la obtención de Aceite Crudo Vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija.

Finalmente, en la Fig 4 – 2, se representa de forma gráfica la comparación entre el % de Rendimiento Experimental, obtenido en laboratorio, y el % Rendimiento de Modelo Matemático ajustado, para la obtención de Aceite crudo vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija. Se puede observar además que el % Rendimiento obtenido en el experimento número 5, no difiere en gran medida, respecto al % Rendimiento ajustado por el modelo matemático.

Fig. 4- 2 Gráfica comparativa del Redimiendo experimental y Rendimiento modelo matemático



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

4.3. CARACTERÍSTICAS Y PRINCIPALES COMPONENTES DEL ACEITE DE AMARANTO OBTENIDO

4.3.1. Características Organolépticas del Aceite de Amaranto

Para la caracterización se tomó en cuenta:

- Color
- Olor
- Sabor

En la siguiente tabla se expresan los resultados obtenidos para el Aceite Crudo Vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija.

Tabla IV-15 Características Organolépticas Aceite Crudo Vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija.

Característica	Resultado
Color	Amarillo.
Olor	Característico a Coime, fuerte y penetrante.
Sabor	Ligeramente Amargo

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

4.3.2. Características Fisicoquímicas del Aceite de Amaranto

Los análisis realizados a la muestra final fueron realizados por el Centro de Investigaciones Químicas (CIQ), entre estos se incluyen:

- Densidad
- Calcio
- Fósforo
- Cloruros
- Proteínas
- Índice de Saponificación
- Índice de Yodo
- Índice de Peróxidos

- Índice de Acidez
- Grados Brix
- Cromatografía Gaseosa: Perfil de Ácidos Grasos

Los resultados de los análisis fisicoquímicos realizados a la muestra final de Aceite Crudo Vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija, se presentan a continuación.

Tabla IV-16 Características Fisicoquímicas del Aceite de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento de Tarija

Parámetro	Unidad	Resultado
Densidad	g/ml	0,984
Calcio	mg/100 ml	< LD
Fósforo	mg/100 ml	< LD
Cloruros	mg/L	1,110
Proteínas	g/100 g	2,100
Índice de Saponificación	mg KOH/g	0,194
Índice de Yodo	%	112
Índice de Peróxido	meqO ₂ /kg	0,940
Índice de Acidez	% Ácido Oleico	7,500
Grados Brix	g/100g	24,000
Perfil de Ácidos Grasos		
Ácido cis 10 Heptadecanoico C17:1	% Relativo	13,880
Ácido Linoleico (ω-6)		26,870
Ácido Oleico		25,320
Methyl cis 11,14 Eicosatrienoate C20:2		20,320
Methyl cis8 11,14 Eicosatrienoate C20:3n		13,610

Fuente: Centro de Investigaciones Químicas (CIQ), 2020. (VER ANEXO)

4.3.3. Comparación de Análisis Físicos Químicos con datos Bibliográficos

En la siguiente Tabla, se muestran los resultados del Análisis Físicoquímico de la Obtención de Aceite de Amaranto, (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento Tarija Bolivia, en comparación a los datos registrados en bibliografía por otros autores.

Tabla IV-17 Comparación Análisis Físicoquímico para Aceites de Amaranto

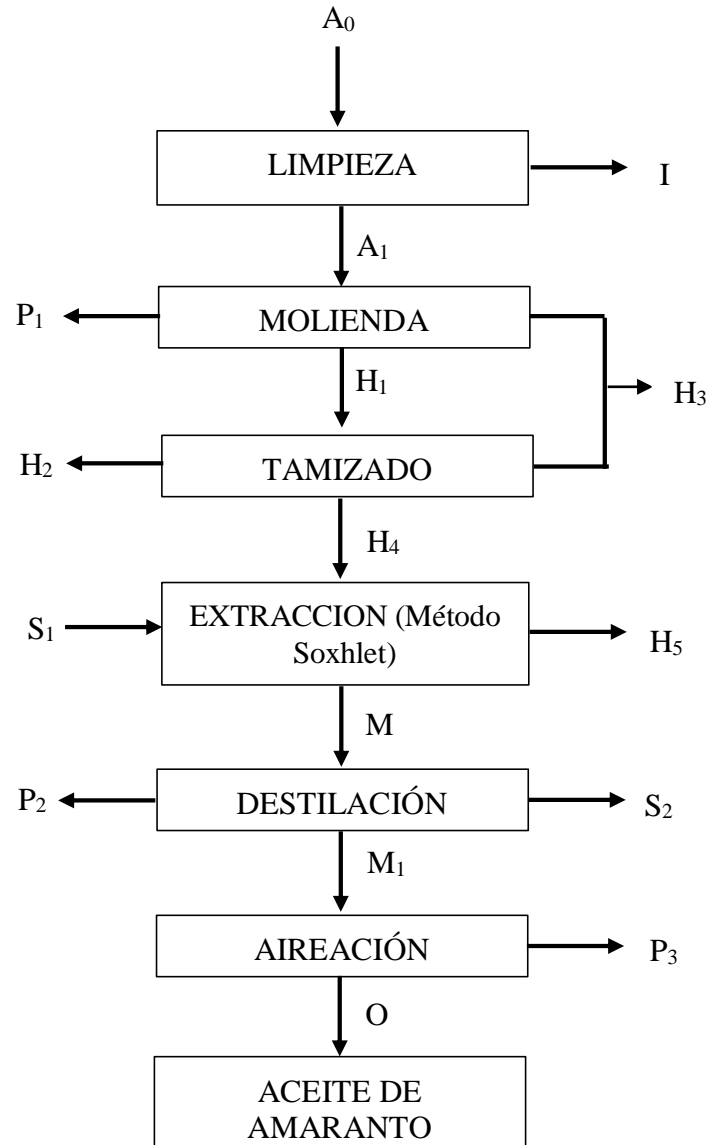
Parámetros	Aceite Tarija	Aceite La Paz	Aceite Querétaro	Aceite Puebla
Especie	<i>Amaranthus Caudatus L.</i>	<i>Amaranthus Caudatus L.</i>	<i>Amaranthus Hypochondriacus.</i>	<i>Amaranthus Hypochondriacus.</i>
Densidad	0,984	0,870	0,847	0,970
Índice de Saponificación	194	161,580	164,220	250,760
Índice de Yodo	112	-	114,340	-
Índice de Peróxido	0,940	0,200	2,010	0,690
Índice de Acidez	7,500	-	12,500	14,480

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Los resultados de los diversos Análisis reflejan bastante similitud en comparación a los datos bibliográficos de diversos autores, se puede observar valores se encuentran dentro de los rangos permisibles de calidad.

4.4. BALANCE DE MATERIA

Fig. 4- 3 Balance de materia en el proceso de extracción de aceite



Fuente: Elaboración Propia, 2020.

A_0 = Semilla de Amaranto

I= Impurezas

A_1 = Semilla Limpia

P_1 = Pérdida en la molienda

H_1 = Harina de Amaranto

H_2 = Harina de Amaranto (< 0.5 mm de partícula)

H_3 = Harina de Amaranto (> 0.5 mm de partícula)

H_4 = Harina de Amaranto (= 0.5 mm de partícula)

S_1 = Solvente

H_5 = Harina de Amaranto después de la Extracción

M = Mezcla Aceite-Solvente

S_2 = Solvente Recuperado

P_2 = Pérdida de Solvente en destilación

M_1 = Mezcla de aceite y trazas de solvente

P_3 = Pérdida de Solvente

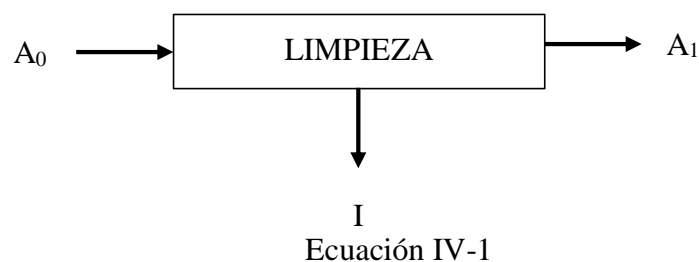
O = Aceite Crudo Vegetal de Amaranto

4.4.1. Balance de Materia en la Limpieza

Datos:

A_0 (Entrada) = 1025 g

I (Impurezas) = 0,867 g



$$A_0 = A_1 + I$$

Despejando:

$$A_1 = A_0 - I$$

$$A_1 = 1025g - 0,867 g$$

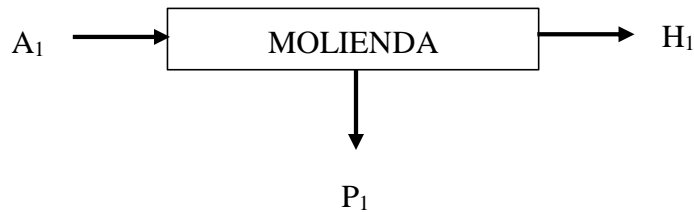
$$A_1 = 1024,133 g$$

4.4.2. Balance de Materia en la Molienda

Datos:

$$A_1 = 1024,133 \text{ g}$$

$$P_1 = 2,594 \text{ g}$$



Ecuación IV-2

$$A_1 = P_1 + H_1$$

Despejando:

$$H_1 = A_1 - P_1$$

$$H_1 = 1024,133 \text{ g} - 2,594 \text{ g}$$

$$H_1 = 1021,539 \text{ g}$$

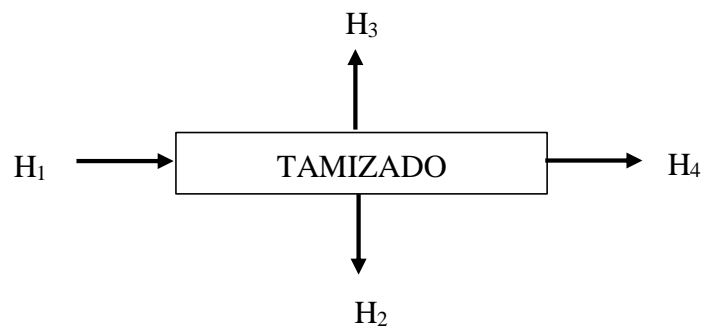
4.4.3. Balance de Materia en el Tamizado

Datos:

$$H_1 = 1021,539 \text{ g}$$

$$H_2 = 0,946 \text{ g}$$

$$H_3 = 10,136 \text{ g}$$



Ecuación IV-3

$$H_1 = H_2 + H_3 + H_4$$

Despejando:

$$H_4 = H_1 - H_2 - H_3$$

$$H_4 = 1021,539 \text{ g} - 0,946 \text{ g} - 10,136 \text{ g}$$

$$H_4 = 1010,457 \text{ g}$$

4.4.4. Balance de Materia en la Extracción

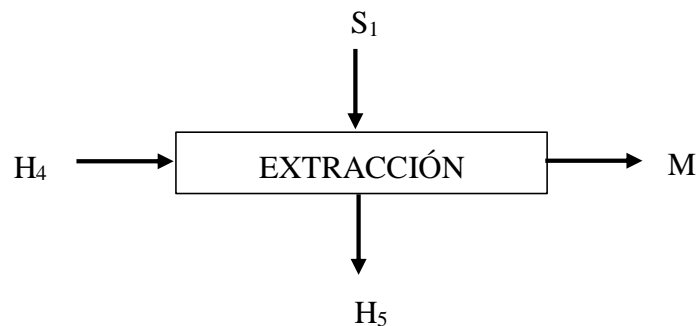
Datos:

$$H_4 = 1010,457 \text{ g}$$

$$\rho (\text{Solvente}) = 0,810 \text{ g/ml}$$

$$S_1 = 0,810 \frac{\text{g}}{\text{ml}} \times 2500 \text{ ml} = 2025 \text{ g}$$

$$H_5 = 858,245 \text{ g}$$



Ecuación IV-4

$$H_4 + S_1 = H_5 + M$$

Despejando:

$$M = H_4 + S_1 - H_5$$

$$M = 1010,457 \text{ g} + 2025 \text{ g} - 858,245 \text{ g}$$

$$M = 2177,212 \text{ g}$$

4.4.5. Balance de Materia en la Destilación

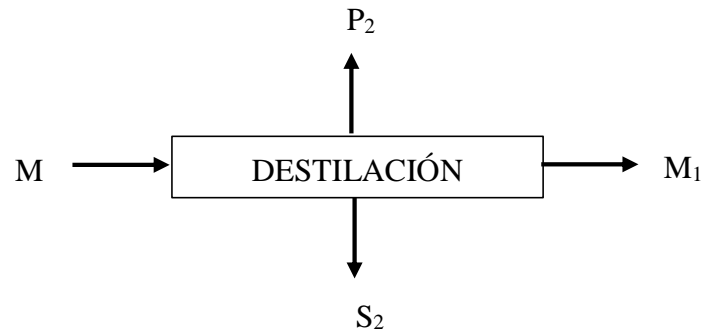
Datos:

$$M = 2177,212 \text{ g}$$

$$S_2 = \text{Recuperación del Solvente } 70\%$$

$$S_2 = S_1 \times 0.7 = 2025 \text{ g} \times 0.7 = 1417,5 \text{ g}$$

$$M_1 = 63,544 \text{ g}$$



Ecuación IV-5

$$M = P_2 + S_2 + M_1$$

Despejando:

$$P_2 = M - M_1 - S_2$$

$$P_2 = 2177,212 \text{ g} - 63,544 \text{ g} - 1417,5 \text{ g}$$

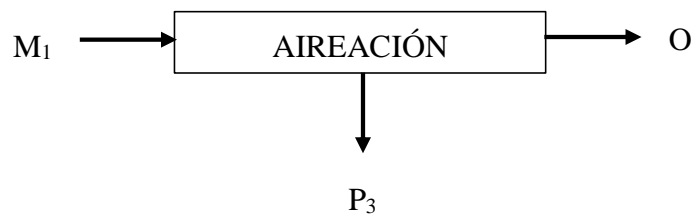
$$P_2 = 696,168 \text{ g}$$

4.4.6. Balance de Materia en la Aireación

Datos:

$$M_1 = 63,544$$

$$O = 56,726 \text{ (Dato que fue obtenido por diferencia de peso)}$$



Ecuación IV-6

$$M_1 = P_3 + O$$

Despejando:

$$P_3 = M_1 - 0$$

$$P_3 = 63,544 \text{ g} - 56,726 \text{ g}$$

$$P_3 = 6,818 \text{ g}$$

4.5. BALANCE DE ENERGÍA

Se realizó el Balance de Energía solo en los procesos que lo requieren, se considera el monto 0,980 Bs/kWh mismo que representa el costo que cobra SETAR en la ciudad de Tarija por la prestación de Servicios.

4.5.1. Balance de Energía Proceso de Molienda: Molino Eléctrico Perten

Datos:

Potencia (P_0) = 750 W = 0.750 kW

Tiempo (t) = 30 min = 0,500 h

$$Energía = P_0 \times t$$

$$Energía = 0,750 \text{ KW} \times 0,500 \text{ h}$$

$$Energía = 0,375 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energía \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 0,375 \text{ kWh} \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 0,368 \text{ Bs} \cong 0,400 \text{ Bs}$$

4.5.2. Balance de Energía Proceso de Tamizado: Tamiz Vibratorio

Datos:

Potencia (P_0) = 0,092 kW

Tiempo (t) = 20 min = 0,333 h

$$Energía = P_0 \times t$$

$$Energía = 0,092 \text{ KW} \times 0,333 \text{ h}$$

$$Energía = 0,030 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energía \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 0,030 \text{ kWh} \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 0,029 \text{ Bs}$$

**4.5.3. Balance de Energía Proceso de Extracción: Plancha de Calentamiento
AKITA BLUE CE – 1482 R**

Datos:

Potencia (P_0) = 1 000 W = 1 kW

Tiempo (t) = 6 h

$$Energía = P_0 \times t$$

$$Energía = 1 \text{ kW} \times 6 \text{ h}$$

$$Energía = 6 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energía \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 6 \text{ kWh} \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 5,880 \text{ Bs} \cong 5,900 \text{ Bs}$$

**4.5.4. Balance de Energía Proceso de Destilación: Plancha de Calentamiento
AKITA BLUE CE – 1482 R**

Datos:

Potencia (P_0) = 1 000 W = 1 kW

Tiempo (t) = 1,500 h

$$Energía = P_0 \times t$$

$$Energía = 1 \text{ kW} \times 1,500 \text{ h}$$

$$Energía = 1,500 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energía \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 1,500 \text{ kWh} \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 1,470 \text{ Bs} \cong 1,500 \text{ Bs}$$

4.5.1. Balance de Energía Proceso de Aireación: Estufa de Secado Heraeus

Datos:

Potencia (P_0) = 2 kW

Tiempo (t) = 5 h

$$Energía = P_0 \times t$$

$$Energía = 2 \text{ kW} \times 5 \text{ h}$$

$$Energía = 10 \text{ kWh}$$

$$Costo = Energía \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 10 \text{ kWh} \times 0,980 \text{ Bs/kWh}$$

$$Costo = 9,800 \text{ Bs} \cong 10 \text{ Bs}$$

4.6. DETERMINACIÓN DEL RENDIMIENTO EN EL PROCESO OBTENCIÓN DE ACEITE CRUDO VEGETAL DE AMARANTO (*Amaranthus Caudatus L.*), PRODUCIDO EN EL DEPARTAMENTO DE TARIJA

4.6.1. Cálculo del Rendimiento del Aceite

El cálculo del rendimiento consiste en relacionar la cantidad de aceite obtenido y la cantidad de semilla alimentada. (Pérez C., González V., et al, 2009)

Se obtiene empleando la siguiente ecuación:

Ecuación IV-7

$$R = \frac{m_{aceite}}{m_{semilla}} \times 100$$

Donde:

R: Porcentaje de Rendimiento,

m_{aceite} : Cantidad de aceite obtenido, g

$m_{semilla}$: Cantidad semilla alimentada, g

Datos:

$$m_{aceite} = 56,726 \text{ g}$$

$$m_{semilla} = 1\ 000 \text{ g}$$

$$R = \frac{56,726 \text{ g}}{1\ 000 \text{ g}} \times 100$$

$$R = 5,673$$

Por tanto el porcentaje de Rendimiento del aceite crudo vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija es **5,673 % \approx 5,7%**

El porcentaje de rendimiento de aceite vegetal de semillas de Amarantho varía entre 5 – 8 %. Por lo tanto, el rendimiento obtenido con las semillas de Tarija se encuentra dentro de los rangos esperados.

4.6.2. Comparación Rendimiento

En la siguiente Tabla, se muestran los resultados del rendimiento de la Obtención de Aceite de Amaranto, (*Amaranthus Caudatus L.*) cultivado en el departamento Tarija Bolivia, en comparación a los datos registrados en bibliografía por otros autores, Calderón Sonia en el departamento de La Paz, Bolivia, y Gonzáles Carlos de Querétaro, México.

Tabla IV-18 Comparación Rendimiento de Obtención de Aceite de Amaranto

Especie Materia Prima	Método de Obtención	Solvente Utilizado	Lugar donde se realizó el Experimento	Rendimiento %
<i>Amaranthus Caudatus L.</i>	Extracción por Solvente, Método Soxhlet	Etanol	Tarija Bolivia	5,673
<i>Amaranthus Caudatus L.</i>	Extracción por Solvente, Método Soxhlet	Hexano	La Paz Bolivia	7,750
<i>Amaranthus Hypochondriacus.</i>	Extracción por Solvente, Método Soxhlet	Hexano	Querétaro México	4,540

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Se observa que el resultado del rendimiento en el proceso de obtención de aceite de Aceite de Amaranto del departamento de Tarija **5,67%**, se asemeja a los datos bibliográficos referenciales, es menor en comparación al porcentaje de rendimiento registrado en La Paz - Bolivia, y mayor a porcentaje de rendimiento en Querétaro - México, la variación puede estar sujeta a factores como: diferencia en la especie de materia prima, diferencia en el solvente utilizado, diferencia en las condiciones del proceso de obtención.

4.7. COSTO DE PRODUCCIÓN – ESCALA LABORATORIO

Para el detalle de los costos de producción del Aceite de Amaranto a escala laboratorio, se consideraron costos de los Análisis de laboratorio requeridos, Servicios Directos e Indirectos, reactivos, la materia prima y materiales.

Para la realización del Proyecto se llevaron 6 pruebas preliminares y 18 experiencias. El dato del precio de la materia prima, es el fijado por el distribuidor local del cual se adquirieron las semillas de Amaranto, el precio por kg de materia Prima es 12,500 Bs. El Solvente utilizado fue Etanol, Alcohol Etílico al 96%, el precio por litro de solvente fijado por distribuidor local es de 10 Bs.

Se detalla el precio de todos los análisis de laboratorio requeridos para llevar a cabo la investigación.

Así mismo en la fase de Producción se toma en cuenta, los gastos de consumo eléctrico, con la tarifa fijada por la empresa Tarijeña SETAR.

Por último se detalla el precio de los servicios directos e indirectos, requeridos para llevar a cabo la investigación.

Los reportes detallados de los costos de producción considerados en el trabajo de investigación se muestran a continuación:

4.7.1. Costos de la Realización del Proyecto

Para los Reactivos y Materia Prima se consideró la cantidad total empleada para llevar a cabo todo el Proyecto de Investigación.

Tabla IV-19 Detalle Costo de Materia Prima y Reactivos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
01	Etanol	Litros	40	10	400
02	Semillas de amaranto	Kilogramos	25	12,500	312,500
Total					712,500

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Tabla IV-20 Detalle Costo Análisis de Laboratorio Materia Prima

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
03	Humedad	Análisis	1	40	40
04	Cenizas	Análisis	1	70	70
Total					110

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Tabla IV-21 Detalles Costo Análisis de Laboratorio Producto Final

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
05	Densidad	Análisis	1	25	25
06	Calcio	Análisis	1	180	180
07	Fósforo	Análisis	1	90	90
08	Cloruros	Análisis	1	70	70
09	Proteínas	Análisis	1	100	100
10	Índice de peróxidos	Análisis	1	90	90
11	Índice de Saponificación	Análisis	1	120	120
12	Índice de Acidez	Análisis	1	50	50
13	Índice de Yodo	Análisis	1	90	90
14	Índice de Refracción	Análisis	1	15	15
15	Cromatografía Gaseosa	Análisis	1	1 200	1 200
Total					2 030

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Tabla IV-22 Detalle Costo Servicios Directos e Indirectos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
16	Investigación en internet	Horas	400	3	1 200
17	Material de Escritorio	Dotación	1	100	100
18	Transporte	Pasaje	600	1	600
19	Envío muestra a Cochabamba	Envío	1	1	35
20	Tiempo utilizado	Horas	400	15	6 000
Total					7 935

Fuente: Elaboración propia, 2020.

Para el costo de Energía Eléctrica, se consideran los equipos utilizados y la cantidad de horas total en las que fueron utilizados para llevar a cabo los ensayos en laboratorio, y la tarifa fijada por SETAR, misma que es de 0,98 Bs/kWh

Equipo	Potencia kW	Tiempo (h)	Energía
Molino de Martillos	0,750	12,500	9,375
Tamiz Vibratorio	0,092	10	0,920
Plancha de Calentamiento en Extracción	1	90	90
Plancha de Calentamiento en Destilación	1	25	25
Estufa	2	75	150
Energía Total kW/h			275,295

Por tanto, el Costo Energético es:

Tabla IV-23 Detalle Costo Energético

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
21	Energía Eléctrica	kW/h	275,295	0,980	269,789
Total					269,789

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Tabla IV-24 Detalle Costo de Materiales directos e indirectos

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
22	Fotocopias	Hojas	100	0,20	30
23	Impresión del trabajo	Hojas	800	0,50	400
24	Anillados	Anillado	6	5	30
25	Empastados	Empastado	3	50	150
Total					610

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Teniendo en cuenta todos estos detalles se calcula el costo total de la investigación:

Tabla IV-25 Detalle Costo Total de la Investigación

Descripción	Costo Total (Bs)
Costo de la materia prima y reactivos	712,500
Costo Análisis Materia Prima	110
Costo Análisis Producto Final	2 030
Costo Servicios Directos e Indirectos	7 935
Costo Energético	269,789
Costo de Materiales Directos e Indirectos	610
Total	11 667,289

El costo de toda la realización del proyecto a escala laboratorio, fue de **11 667,289 Bs**

4.7.2. Estimación de Costos Operativos, Suponiendo como Solvente: Éter de Petróleo

Se suponen costos en la etapa de operación, considerando solamente un ensayo de obtención de Aceite de Amaranto, utilizando como solvente: Éter de Petróleo.

Tabla IV-26 Estimación de Costos Materia Prima y Reactivos (Éter de Petróleo)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
01	Éter de Petróleo	Litros	2,500	450	1 125
02	Semillas de amaranto	Kilogramos	1	12,500	12,500
Total					1 137,500

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Para el costo de Energía Eléctrica, se consideran los equipos utilizados y la cantidad de horas total en las que serían utilizados para llevar a cabo un ensayo en laboratorio, y la tarifa fijada por SETAR, misma que es de 0,98 Bs/kWh.

Equipo	Potencia kW	Tiempo (h)	Energía
Molino de Martillos	0,750	0,500	0,375
Tamiz Vibratorio	0,092	0,333	0,031
Plancha de Calentamiento en Extracción	1	6	6
Plancha de Calentamiento en Destilación	1	1,5	1,5
Estufa	2	5	10
Energía Total kW/h			17,906

Por tanto, el Costo Energético es:

Tabla IV-27 Estimación de Costo Energético (Éter de Petróleo)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
03	Energía Eléctrica	kW/h	17,906	0,98	17,548
Total					17,548

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Por tanto, se estima que el costo operativo total, en un ensayo de obtención de Aceite de Amaranto, utilizando como solvente, Éter de Petróleo, es de:

Tabla IV-28 Estimación de Costo Operativo Total (Éter de Petróleo)

Descripción	Costo Total (Bs)
Costo de la materia prima y reactivos	1 137,500
Costo Energético	17,548
Total	1 155,048

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

El costo operativo estimado para el proceso operativo, utilizando como solvente, Éter de Petróleo, es de **1 155,048 Bs.**

4.7.3. Estimación de Costos Operativos, Suponiendo como Solvente: n-Hexano

Se suponen costos en la etapa de operación, considerando solamente un ensayo de obtención de Aceite de Amaranto, utilizando como solvente: n-Hexano.

Tabla IV-29 Estimación de Costos Materia Prima y Reactivos (n-Hexano)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
01	n-Hexano	Litros	2,500	600	1 500
02	Semillas de amaranto	Kilogramos	1	12,500	12,500
Total					1 512,500

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Para el costo de Energía Eléctrica, se consideran los equipos utilizados y la cantidad de horas total en las que serían utilizados para llevar a cabo un ensayo en laboratorio, y la tarifa fijada por SETAR, misma que es de 0,98 Bs/kWh.

Equipo	Potencia kW	Tiempo (h)	Energía
Molino de Martillos	0,750	0,500	0,375
Tamiz Vibratorio	0,092	0,333	0,031
Plancha de Calentamiento en Extracción	1	6	6
Plancha de Calentamiento en Destilación	1	1,5	1,5
Estufa	2	5	10
Energía Total kW/h			17,906

Por tanto, el Costo Energético es:

Tabla IV-30 Estimación de Costo Energético (n-Hexano)

Ítem	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo unitario	Costo total (Bs)
03	Energía Eléctrica	kW/h	17,906	0,98	17,548
Total					17,548

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

Por tanto, se estima que el costo operativo total, en un ensayo de obtención de Aceite de Amaranto, utilizando como solvente, n-Hexano, es de:

Tabla IV-31 Estimación de Costo Operativo Total (n-Hexano)

Descripción	Costo Total (Bs)
Costo de la materia prima y reactivos	1 512,500
Costo Energético	17,548
Total	1 530,048

Fuente: Elaboración Propia, 2020.

El costo operativo estimado para el proceso operativo, utilizando como solvente, n-Hexano, es de **1 530,048 Bs.**

CAPÍTULO V
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

Respondiendo a los objetivos planteados en el presente Proyecto de Investigación Aplicada de obtención de Aceite Crudo Vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), basado en los resultados, las conclusiones son las siguientes:

- En cuanto a la caracterización de la materia prima, semillas de Amaranto, se presentan los siguientes resultados:

Humedad: 9,680 %

Cenizas: 2,770 %

No se necesita realizar secado en la etapa de pretratamiento, en comparación con los datos de bibliografías y los valores obtenidos para materia prima cultivada en el departamento de Tarija, se encuentran dentro del rango permisible de la norma, **NB-336004, Amaranto.**

- El aceite de Amaranto se obtiene por el método de extracción por Solvente, utilizando como reactivo Alcohol Etilico, Etanol al 96%, las condiciones de operación recomendada, por los datos obtenidos en la práctica, para el proceso de obtención de aceite crudo de Amaranto, son:

Tamaño de Partícula: 0,500 mm de malla.

Tiempo de Extracción: 6 horas

Temperatura de extracción: 70 °C

- De acuerdo a los resultados del programa Estadístico SPSS 17,0 indican que la variable de temperatura de extracción influye de manera directa y significativa sobre el porcentaje obtenido de aceite crudo vegetal Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija.
- Dando respuesta a la caracterización del producto obtenido, se llevó a cabo la determinación de las propiedades fisicoquímicas de aceite crudo vegetal

Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija, en el CIQ Centro de Investigaciones Químicas, el informe proporciona la siguiente información:

Densidad:	0,984 g/ml
Calcio:	< LD, inferior al límite de detección.
Fósforo:	< LD, inferior al límite de detección.
Cloruros:	1,110 mg/l
Proteínas:	2,100 g/100g
Índice de Saponificación:	0,194 mg KOH/g
Índice de Yodo:	112 %
Índice de Peróxido:	0,940 mgO ₂ /kg
Índice de Acidez:	7,500 % Ácido Oleico
Grados Brix:	24 g/100 g

Los resultados se asemejan a los de bibliografía consultada, referente a la obtención de Aceite Crudo de Amaranto obtenido por otros autores, si bien no existe una norma específica para los Parámetros Físicoquímicos Característicos de este aceite, de acuerdo a criterios generales establecidos en la Norma CODEX STAN 210 – 199, el producto obtenido si se encuentra dentro de los límites establecidos.

La determinación del Perfil de Ácidos Grasos del producto, aceite crudo vegetal de Amaranto (*Amaranthus Caudatus L.*) brinda la siguiente información:

Ácido cis 10 Heptadecanoico C17:1	13,880 %
Ácido linoleico (ω-6)	26,870 %
Ácido Oleico	25,320 %
Methyl cis, 11, 14 Eicosatrienoate C20:2	20,320 %
Methyl cis 8,11, 14 Eicosatrienoate C20:3n	13,610 %

Los porcentajes, son similares a los de bibliografía.

- En cuanto al rendimiento del Proceso experimental de obtención de aceite crudo vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*) es **5,673 %**, como resultado del balance de materia realizado, es un valor bastante aceptable, que indica las buenas condiciones con las que se trabajó a escala laboratorio.
El resultado de rendimiento es similar en comparación a los datos consultados en bibliografía.

En conclusión, el presente Proyecto de Investigación, colabora brindando bases para continuar con una investigación más a fondo acerca del valor agregado que se le puede otorgar a la materia prima local, el producto posee propiedades que confieren un gran potencial con amplia gama de aplicaciones; como una buena alternativa para la investigación en el rubro farmacéutico-medicinal en producción de nutraceúticos; así como también en el rubro de la cosmética.

5.2. RECOMENDACIONES

- En esta investigación se encontraron buenos resultados en cantidad y calidad de aceite, sin embargo estos resultados son a escala experimental; por lo tanto es recomendable realizar un estudio de producción de este aceite a escala comercial para su aplicación, recomendando llevar los resultados del estudio a nivel planta piloto de bajo volumen para el procesamiento de este aceite y así obtener datos de rendimiento y calidad de aceite que se asemejen más a la producción industrial a gran escala, mediante las condiciones y parámetros establecidos en esta investigación.
- Se recomienda llevar a cabo en laboratorio los ensayos para otro tipo de solvente y llevar a cabo una corroboración de datos, para una comparación de datos de rendimiento con diferentes solventes, dado que por factores económicos externos, no se llevaron a cabo.
- Se recomienda continuar con el estudio para llevar a cabo la estabilización y refinación del Aceite Crudo Vegetal de Amarantho (*Amaranthus Caudatus L.*), cultivado en el departamento de Tarija.
- Se recomienda el estudio de nuevos usos del aceite obtenido y de sus derivados.