

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**



**PROPUESTA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE  
PULPA DE CAFÉ PARA EL PROCESO DE DESPULPADO EN LA  
ASOCIACIÓN SIERRA NORTE MINAS**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE  
INGENIERO INDUSTRIAL**

**AUTOR**

**RONY MILER FERNANDEZ FRIAS**

**ASESOR**

**MARÍA LUISA ESPINOZA GARCÍA URRUTIA**

<https://orcid.org/0000-0002-7527-3834>

**Chiclayo, 2019**

**PROPUESTA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A  
PARTIR DE PULPA DE CAFÉ PARA EL PROCESO DE  
DESPULPADO EN LA ASOCIACIÓN SIERRA NORTE MINAS**

**PRESENTADA POR:**

**RONY MILER FERNANDEZ FRIAS**

A la Facultad de Ingeniería de la  
Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo  
optar el título de

**INGENIERO INDUSTRIAL**

**APROBADA POR:**

Evans Nielander Llontop Salcedo

**PRESIDENTE**

Edith Anabelle Zegarra Gonzales

**SECRETARIO**

María Luisa Espinoza García Urrutia

**ASESOR**

## DEDICATORIA

### *A Dios*

Por haberme permitido llegar hasta estas estancias de mi vida con su infinito amor y bondad, y ayudarme a cumplir mis objetivos.

### *A mis padres*

Por su constante apoyo sin importar las circunstancias, por sus ejemplo de trabajo y perseverancia en todo momento, y más que todo por su amor incondicional.

### *En general*

A todas las personas que están en los buenos y malos momentos ayudándome a salir adelante

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi padre y tíos por haber brindarme todo el apoyo material e inmaterial para hacer posible el sueño de ser un profesional.

A los miembros de la Asociación Sierra Norte Minas por su gran apoyo desinteresado con información importante para el desarrollo de esta investigación.

A mi asesora Ing. María Luisa Espinoza García Urrutia por su valiosa orientación en el desarrollo de este proyecto de investigación.

A todos mis profesores que fueron parte de mi formación académica durante el desarrollo de esta investigación y de toda mi vida universitaria.

A mis amigos y compañeros de la universidad y fuera de la universidad, además de todas las personas que de una u otra manera fueron partícipes con su apoyo incondicional en los momentos necesarios.

## **RESUMEN**

En la actualidad las empresas, asociaciones, grupos de personas o incluso cualquier persona natural, se han visto en la necesidad de establecer acciones con respecto al medio ambiente, tales como la disminución de explotación de recursos naturales, uso de energías renovables, entre otros.

La Asociación Sierra Norte Minas (ASNM) dedicada principalmente a la producción de café orgánico de variedad arábica, se ubica en el departamento de Cajamarca y cuenta con aproximadamente 36 ha dedicadas a este cultivo, siendo la producción promedio de 7 182 kg/ha de la cual el 42% es pulpa de café (residuo principal) que se obtiene en el proceso de despulpado, un proceso que no se realiza de la mejor manera. La pulpa de café es arrojada a las tierras agrícolas y/o alrededores del proceso de despulpado, sin ningún tratamiento previo y al dejarse expuesta al ambiente genera problemas tanto humano como ecológico. Por ello se planteó como objetivo la generación de electricidad mediante la producción de biogás a partir de la pulpa de café para el proceso de despulpado en la ASNM.

En primer lugar se realizó un diagnóstico del proceso productivo de beneficiado de café en la ASNM el cual permitió conocer la situación actual, centrándose en el proceso de beneficiado del café. Se identificó que la pulpa de café tiene un 82,5% de humedad, 21,52 de relación C/N y 4,2% de MoV. Se realizó la propuesta de producción de biogás a partir de la pulpa de café para la generación de energía eléctrica en la que es posible producir 1665 m<sup>3</sup> de biogás generando una cantidad de energía de 9308,37 kW. Y finalmente se ve una mejora en el proceso de despulpado tanto en la disminución del costo de mano de obra en el despulpado (-37% por quintal) y el aumento en los ingresos de un 12% en la ASNM.

**Palabras clave:** Pulpa de café, despulpado, digestión anaeróbica, biogás, generación de electricidad.

## **ABSTRACT**

Currently companies, associations, groups of people or even any natural person, have been in need of establishing actions with respect to the environment, such as the reduction of exploitation of natural resources, use of renewable energy, among others.

The Sierra Norte Minas Association (ASNM), dedicated mainly to the production of Arabica organic coffee, is located in the Department of Cajamarca and has approximately 36 ha dedicated to this crop, with an average production of 7 182 kg / ha of the which 42% is coffee pulp (main waste) that is obtained in the pulping process, a process that is not done in the best way. The coffee pulp is thrown into the agricultural lands and / or surroundings of the pulping process, without any previous treatment and leaving itself exposed to the environment generates both human and ecological problems. Therefore, the objective was the generation of electricity through the production of biogas from coffee pulp for the depulping process in the ASNM.

In the first place, a diagnosis was made of the productive process of the coffee beneficiary in the ASNM, which allowed to know the current situation, focusing on the coffee beneficiation process. It was identified that the coffee pulp has 82.5% humidity, 21.52 C / N ratio and 4.2% MoV. The proposal was made to produce biogas from coffee pulp for the generation of electrical energy in which it is possible to produce 1665  $m^3$  of biogas generating an amount of energy of 9308.37 kW. And finally there is an improvement in the pulping process both in the reduction of the cost of labor in the pulping (-37% per quintal) and the increase in income of 12% in the ASNM.

**Keywords:** Coffee pulp, pulping, anaerobic digestion, biogas, generation of electricity.

## ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN .....	11
II.	MARCO TEÓRICO .....	13
2.1.	ANTECEDENTES DEL PROBLEMA.....	13
2.2.	MARCO TEÓRICO .....	17
2.2.1.	Pulpa de café .....	17
2.2.2.	Proceso de beneficiado del café .....	18
2.2.3.	Residuos sólidos.....	20
2.2.4.	Producción de biogás .....	23
2.2.4.1.	Definición .....	23
2.2.4.3.	Factores determinantes en el proceso metanogénico (producción de biogás) .....	24
2.2.5.	Biodigestores .....	26
2.2.5.2.	Modelos de biodigestores .....	27
2.2.6.	Usos del biogás.....	30
2.2.7.	Maquinaria existente para convertir el biogás en energía eléctrica.....	32
2.2.8.	Herramientas para el análisis y evaluación de proyectos .....	33
2.2.9.	Matriz de Leopold .....	34
III.	RESULTADOS .....	35
3.1.	DIAGNÓSTICO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE BENEFICIADO DE CAFÉ EN LA ASOCIACIÓN SIERRA NORTE MINAS .....	35
3.1.1.	Asociación Sierra Norte Minas .....	35
3.1.2.	Producción de café .....	36
3.1.3.	Proceso de beneficiado .....	38
3.1.4.	Indicadores .....	46
3.1.5.	Pulpa de café .....	48
3.2.	CARACTERÍSTICAS DE LA PULPA DE CAFÉ DE TIPO ARÁBICA .....	55
3.2.1.	Selección de la muestra .....	55
3.2.2.	Resultados de análisis de características de la pulpa de café .....	55
3.2.3.	Discusiones.....	56

3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE PULPA DE CAFÉ .....	58
3.3.1. Localización .....	58
3.3.2. Proceso de producción de biogás y generación de electricidad .....	64
3.3.3. Selección del biodigestor .....	68
3.3.4. Diseño del biodigestor.....	73
3.3.5. Cantidad de biogás a producir .....	86
3.3.6. Energía eléctrica a partir del biogás .....	86
3.4. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA PROPUESTA.....	89
3.4.1. Análisis de costos .....	89
3.4.2. Análisis de beneficio económico.....	94
3.4.3. Mejora del proceso de despulpado .....	95
3.4.4. Relación costo - beneficio .....	97
3.4.5. Flujo de caja del proyecto .....	99
3.4.6. Beneficio ambiental.....	100
IV. CONCLUSIONES .....	103
V. RECOMENDACIONES.....	104
VI. LISTA DE REFERENCIAS .....	105
VII. ANEXOS .....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 - Composición físico - químico de la pulpa de café.....	17
Tabla 2 - Característica generales del biogás .....	24
Tabla 3 - Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica .....	25
Tabla 4 – Tiempo promedio del despulpado de una lata de café (min) .....	44
Tabla 5 - Resumen de los tiempos presentes en el DAP .....	46
Tabla 6 - Valores de calificación Magnitud e Importancia para la Matriz de Leopold .....	51
Tabla 7 - Características de la pulpa de café.....	56
Tabla 8 - Calificación del puntaje aplicado a los criterios para la selección del lugar .....	58
Tabla 9 - Cantidad de pulpa de café producido (2017) .....	59
Tabla 10 - Matriz de enfrentamiento de factores para elección del lugar .....	62
Tabla 11 - Selección del lugar más adecuado .....	63
Tabla 12 - Comparación de generadores eléctricos .....	68
Tabla 13 - Comparación de los tipos de biodigestores.....	69
Tabla 14 - Matriz de enfrentamiento de criterios para la selección del biodigestor .....	72
Tabla 15 - Selección del biodigestor más adecuado .....	74
Tabla 16 - Promedio y factor mensual .....	75
Tabla 17 - Valor de variables para el cálculo del pronóstico .....	76
Tabla 18 - Pronóstico por el método de regresión lineal.....	77
Tabla 19 - Resumen de pronóstico por año.....	78
Tabla 20 - Producción de pulpa de café por día en el año 2017 .....	81
Tabla 21 - Método Guerchet para el cálculo del área necesaria.....	84
Tabla 22 - Requerimiento de energía eléctrica para el despulpado.....	87
Tabla 23 - Requerimiento de electricidad en la Asociación Sierra Norte Minas .....	89
Tabla 24 - Costo estimado de maquinaria y equipos para el sistema.....	90
Tabla 25 - Costo de la instalación del fitotoldo .....	91
Tabla 26 - Costos estimados para la construcción del sistema .....	91
Tabla 27 - Costo de mano de obra directa e indirecta.....	92
Tabla 28 - Inversión total del proyecto .....	93
Tabla 29 - Cuotas de pago de deuda en Agrobanco.....	94
Tabla 30 - Mejora del proceso de despulpado.....	95
Tabla 31 - Ingresos de la asociación si continúan con sus métodos actuales.....	96
Tabla 32 - Ingresos de las Asociación Sierra Norte Minas de acuerdo a la producción y precios pronosticados .....	97
Tabla 33 - Valores del TIR, VAN y C/B.....	98
Tabla 34 - Flujo de caja del proyecto .....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Partes del grano de café cerezo .....	18
Figura 2 - Biodigestor de modelo chino .....	28
Figura 3 - Biodigestor de modelo Hindú.....	29
Figura 4 - Biodigestor de modelo Horizontal.....	30
Figura 5 – Generadores electricos existentes. ....	33
Figura 6 - Ubicación de la Asociación Sierra Norte Minas .....	35
Figura 7 - Hectáreas que manejan los productores de café .....	36
Figura 8 - Producción de café (cerezo) en los últimos años de la Asociación Sierra Norte Minas (kg). ....	37
Figura 9 - Diagrama de bloques del proceso de beneficiado de café .....	38
Figura 10 - Productores que cuentan con máquina despulpadora .....	39
Figura 11 - Proceso de despulpado manual.....	41
Figura 12 - Café acabado de ser despulpado (café húmedo).....	41
Figura 13 - Pulpa de café.....	42
Figura 14 - Café pergamino almacenado en sacos .....	43
Figura 15 - DAP del proceso de despulpado en el beneficiado del café .....	45
Figura 16 - Producción de pulpa de café en los últimos años de la Asociación Sierra Norte Minas .....	48
Figura 17 - Pulpa de café en descomposición .....	49
Figura 18 - Área después de medio año de acumulación de pulpa de café.....	50
Figura 19 - Parámetros utilizados en la evaluación de la Matriz de Leopold .....	51
Figura 20 - Evaluación del impacto ambiental a través de la Matriz de Leopold en la Asociación Sierra Norte Minas .....	53
Figura 21 - Selección de muestra .....	55
Figura 22 - Lugar de preferencia de una posible instalación de un sistema de producción de biogás .....	60
Figura 23 - Proceso de producción y aprovechamiento del biogás.....	64
Figura 24 - Motor eléctrico insertado a la máquina despulpadora Fuente: Motores y Maquinarias de El salvador .....	65
Figura 25 - Desulfurizador de biogás.....	66
Figura 26 - Bolsa de almacenamiento de biogás.....	67
Figura 27 - Generac Guardian Series™ 5518 - 8 kW Home Standby Generator .....	68
Figura 28 - Pronóstico de la generación de la pulpa de café.....	78
Figura 29 – Evaluación del Impacto Ambiental con la Matriz de Leopold .....	101

## I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en un mundo globalizado y competitivo, las diferentes organizaciones industriales buscan la manera de mejorar sus procesos para mantenerse firmes en la participación dentro del mercado, ofreciendo productos o servicios a un precio aceptable, de calidad, amigables con el ambiente, entre otros. Estas organizaciones son protagonistas de uno de los grandes problemas a nivel mundial, como es la contaminación ambiental; ocasionando principalmente el deterioro de los recursos naturales y el impacto de algunos fenómenos del mismo tipo, como las erupciones volcánicas, fugas tóxicas, entre otros problemas. Y a medida que aumenta el crecimiento y la facultad del hombre en la tierra, se va generando mayor impacto hacia el ambiente.

Una de las actividades económicas que no es ajena al impacto directo del medio ambiente es el cultivo de la tierra, la agricultura, actividad que en muchos lugares aún carecen de tecnología que ayuden a mejorar su producción y aprovechar las grandes cantidades de residuos de origen orgánico que no tienen una eliminación adecuada, lo cual es un gran problema difícil de solucionar para las personas que se dedican a esta actividad. En general, la agricultura genera impactos significativos hacia el medio ambiente, tales como; erosión de la tierra, deforestación lo que afecta a la flora y fauna, las desecaciones, la aplicación de pesticidas y fertilizantes, todos estos pueden ser un peligro para la fauna y la vida humana, entre otros.

El cultivo del café es originario del norte de África y es cultivado con el fin de producir granos, estos granos de café tienen rico contenido de sustancias aromáticas y estimulantes que permite preparar una infusión altamente preciada como bebida y como sobremesa [1]. La calidad del café como producto final definitivamente depende del proceso en el que se haya llevado a cabo, desde su cultivo hasta producto terminado. En el Perú, el café llegó hace 270 años de la mano de unos cuantos colonos europeos. Para el 2016 se cultivó 425 000 ha a lo largo y ancho de la cordillera de Los Andes, a temperaturas templadas y alturas entre los 900 y 1800 msnm. Además cabe resaltar que directa o indirectamente, 2 500 000 peruanos dependen de la economía cafetalera [2]. En cuanto a la producción de café, suele variar según los años (anexo 1), y esto se debe principalmente a cambios climáticos y enfermedades y plagas que se presentan, sin embargo, para estos últimos años se tiene proyectado que la producción está en alza.

La Asociación Sierra Norte Minas (ASNM), ubicado en la provincia de Cutervo, departamento de Cajamarca, cuenta con 24 miembros asociados, todos se dedican principalmente al cultivo de café orgánico, variedad arábica, y actualmente, tiene un área aproximada de 36 hectáreas (ha) dedicadas a este cultivo, con una producción promedio de 7 182 kg de café cerezo por ha. Desde el año 2011 al 2017 la producción de café ha ido variando, sin embargo, se tiene previsto que para los siguientes años la producción irá en aumento, y en consecuencia la generación de mayores cantidades de residuos agrícolas, principalmente del café cerezo después de la cosecha, considerado en este caso como proceso de beneficiado húmedo. La principal etapa dentro del proceso de beneficiado húmedo es el despulpado y la manera en que la asociación lleva a cabo este proceso no es la mejor, pues el proceso es totalmente manual, lo que implica invertir mayor tiempo en

comparación si se usara un motor. Según los productores de la asociación, el café cerezo debe ser despulpado el mismo día de la cosecha, es decir de las 6 u 8 horas después de la cosecha para que el café no pierda su calidad. Sin embargo, debido a la falta de mano de obra para realizar este proceso los productores dejan acumular cantidades de café cerezo que generalmente se despulpa uno o hasta 4 días después, y esto influye en la calidad del café lo que finalmente conlleva a que su producto se venda en menor precio.

Por otro lado, en el proceso se genera gran cantidad de residuos que también es un problema difícil de solucionar para los productores, y es el caso de la pulpa de café (residuo principal) que representa el 42% del café cerezo que se procesa y que debido a su descomposición afecta la salud humana y al ambiente. Estos residuos contienen sustancias orgánicas (4,26% de materia volátil) que pueden ser utilizados para la obtención de biogás, posteriormente con este gas generar electricidad y con el uso de este recurso beneficiar a la ASNM en el proceso de despulpado, usándolo en un motor adaptado a la máquina despulpadora.

Por lo tanto de acuerdo a lo descrito, surge la pregunta ¿En qué medida la producción de biogás a partir de la pulpa de café generará electricidad para el proceso de despulpado en la Asociación Sierra Norte Minas? Para dar solución a esta interrogante se planteó el siguiente objetivo general: Elaborar una propuesta de generación de electricidad a partir de pulpa de café para el proceso de despulpado en la ASNM. Para lo anterior, se plantearon objetivos específicos: Realizar un diagnóstico del proceso productivo de beneficiado de café en la ASNM, determinar las características de la pulpa de café arábica, realizar el diseño del sistema de generación de electricidad a partir de la pulpa de café, por último elaborar un análisis costo - beneficio económico y ambiental de la propuesta.

El presente trabajo de investigación pretende reemplazar la parte manual en el proceso de despulpado a la utilización de un motor eléctrico en la asociación, y de esta manera agilizar el proceso para que les sea posible cumplir con lo ideal que es despulpar todo el café cerezo al poco tiempo de ser cosechado; además, disminuir el impacto ambiental que ocasiona la pulpa de café al ser desechada sin un tratamiento previo, mediante una propuesta de producción de biogás como fuente de energía eléctrica que será utilizada para la marcha de las máquinas despulpadoras a través del motor antes mencionado.

La generación de biogás como fuente de energía renovable, sería una opción con garantía de rentabilidad, pues no sólo resolvería un problema ambiental al momento de aprovechar materia orgánica sino que permitiría a la ASNM disminuir los costos de mano de obra en el proceso de despulpado así como solucionar el problema de acumulación del café cerezo antes de ser despulpado por la escasez de mano de obra, lo que ocasionaba que el producto final pierda calidad. Adicionalmente, con esta propuesta se resolverán una serie de problemas que enfrenta nuestro país tanto en el sector rural como urbano, entre los que se destacan la disposición inadecuada de residuos y acumulación de estos, infertilidad, degradación y desertificación de los suelos y contaminación del agua. Así mismo, se permitirá que el investigador amplíe sus conocimientos en los temas de tratamiento, aprovechamiento y reutilización de residuos agroindustriales.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1. ANTECEDENTES DEL PROBLEMA

Romero y Mamani [3] realizaron la **Obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café**, se realizó en la cuenca del Valle de Vanatile, distrito de Yanatile, provincia de Calca, región de Cusco, 2012. En este lugar se realiza el proceso de beneficiado del café vía húmeda, los residuos orgánicos de esta actividad son arrojados a las corrientes de agua y/o terrenos agrícolas del lugar, sin tratamiento alguno el cual causa graves problemas de contaminación ambiental. El objetivo de este estudio fue obtener biogás como una fuente de energía renovable a partir de los subproductos generados en el beneficiado húmedo del café, utilizando biodigestores de modelo tipo Taiwán de forma tubular. En cuanto a la metodología se logró estimar la cantidad de generación de gas metano y dióxido de carbono a partir de la muestra de la pulpa y mucílago del café, con el resultado de la estimación se diseñó y se construyó un sistema de biodigestores, para su alimentación se usaron la pulpa humectada y mucílago de café. En cuanto a los instrumentos de medición se utilizaron los sensores de temperatura, sensor pH-metro, manómetro columna de agua, sensor de gas dióxido de carbono, horno de secado, cromatografía. Los resultados encontrados responden al objetivo general planteado ya que se encontró  $6\,430\,912,65\ m^3$  de biogás como estimado, y está compuesto por: 65,224 % de metano, 29,776 % de dióxido de carbono y 5 % de otros gases, oportunidad para generar energía en el sector cafetalero utilizando los subproductos del proceso beneficiado de café. El lodo residual orgánico contiene: Nitrógeno 1,508 a 1,942 %, Fósforo 0,765 a 1,373 %, Potasio 0,46 a 1,83 %, el resultado garantiza que el lodo residual debe ser usado como abono base Nitrógeno, Fósforo y Potasio, en la misma propiedad del cafetalero.

La relación que tiene la anterior investigación con el presente estudio es que existe una semejanza en la problemática y una disposición de residuos sólidos con las mismas características, además, con el mismo objetivo de convertir los residuos o subproductos del café como una fuente de energía renovable a través de la producción de biogás producto de una fermentación anaeróbica en biodigestores del modelo tubular.

Cepero, *et al.* [4] En su investigación sobre **Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores**, menciona que uno de los procesos de investigación e innovación tecnológica que se desarrollan en el marco del proyecto “La biomasa como fuente renovable de

energía para el medio rural” (BIOMAS-CUBA) está relacionado con la producción de biogás y bioabonos a partir de los efluentes de biodigestores, en fincas agroenergéticas, donde se producen alimentos y energía, de forma integrada. Las tecnologías seleccionadas para la construcción de biodigestores anaeróbicos han sido: la cúpula fija (modelo chino), el tubular plástico o de manga de polietileno con flujo continuo (tipo Taiwán) y la laguna anaeróbica cubierta con una geomembrana de polietileno de alta densidad. A partir de éstas se construyeron o repararon –en menor medida– 69 biodigestores, en fincas campesinas de las provincias de Matanzas, Sancti Spíritus y Las Tunas, en la Estación Experimental “Indio Hatuey”, en la comunidad de Montaña Magueyal (Santiago de Cuba), en un centro de producción porcina de Las Tunas y en una granja agropecuaria del Ministerio del Interior, en Jovellanos (provincia de Matanzas). Estos 69 biodigestores abarcaron una capacidad total de digestión de  $1\ 665\ m^3$  y generaron producciones de  $600\ 060\ m^3$  de biogás, que se utilizaron en la cocción de alimento humano y animal, la generación de electricidad y la cocción de ladrillos; así como 2 601 toneladas de bioabonos, empleados en la mejora de la fertilidad de 1 830 ha de suelos; además permiten eliminar la contaminación provocada por excretas vacunas y porcinas en los escenarios productivos, lo cual genera un impacto ambiental positivo. Se instalaron 52 plantas de producción de bioproductos a partir de efluentes de biodigestores, enriquecidos con microorganismos nativos, los cuales se utilizan en la sanidad animal y vegetal, la nutrición de cultivos, la eliminación de malos olores en instalaciones pecuarias, la biorremediación de lagunas contaminadas con residuales orgánicos y en los filtros de biocerámicas.

Por lo tanto, se afirma que a partir de la biomasa producida en fincas es posible la producción de biogás a través de la digestión anaeróbica. Además es importante mencionar la considerable generación de bioabonos que benefician de manera natural (como abono) a las plantaciones que se les aplique.

Corro, Paniagua, Bañuelos and Rosas [5], in his **research Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions**; had as main objective to verify if the biogas can be produced by the co-digestion of the coffee paste and the mixture of manure of cow under solar radiation. Regarding the research methodology, gas chromatography and FTIR spectroscopy it was used to analyze the chemical compositions of the Biogas and its post-combustion emissions. From the first month of co-digestion under mesophilic

conditions (that is, at an optimum temperature of 25 - 35 ° C which is a range of temperature at which anaerobic microorganisms can work), the methane content in biogas reached 50% of yield. This content increased up to 60% and remained almost constant for at least 8 months of additional digestion. The FTIR gas spectroscopy analysis revealed the presence of more than 70 chemical compounds in the biogas generated after 4 months of co-digestion along with several compounds hazardous to the environment and animal health such as isocyanic acid, and Bromomethane. In this investigation they indicate that if biogas is to be considered as a fuel, conventional technology has to be updated to prevent these hazardous emissions into the atmosphere.

Corro, Paniagua, Bañuelos y Rosas [5], en su investigación: **Generation of biogas from coffee-pulp and cow-dung co-digestion: Infrared studies of postcombustion emissions**; tuvieron como principal objetivo el comprobar si el biogás puede producirse mediante la co-digestión de la pulpa de café y la mezcla de estiércol de vaca bajo radiación solar. En cuanto a la metodología de investigación, la cromatografía de gases y la espectroscopía FTIR (Espectrometría Infrarroja con Transformada de Fourier) fue utilizada para analizar las composiciones químicas de la Biogás y sus emisiones postcombustión. En este proyecto desde el primer mes de co-digestión en condiciones mesofílicas (es decir a una temperatura óptima de 25 – 35 °C el cual es un rango de temperatura en los que pueden trabajar los microorganismos anaeróbicos), el contenido de metano en el biogás alcanzó el 50% del rendimiento. Este contenido aumentó hasta un 60% y permaneció casi constante durante al menos 8 meses de digestión adicional. El análisis de espectroscopia de gas FTIR reveló la presencia de más de 70 compuestos químicos en el biogás generado después de 4 meses de co-digestión junto con varios compuestos peligrosos para el medio ambiente y la sanidad animal como el ácido isocianico, y bromometano. En este trabajo se concluyó que el biogás debe ser considerado como un combustible, sin embargo, la tecnología convencional tiene que ser la más actual para prevenir estas emisiones peligrosas a la atmósfera.

Vera, Estrada, Martínez y Ortiz [6], en su investigación: **Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: excretas de ganado bovino y porcino** afirma que el trabajo reporta el potencial de energía a través del biogás obtenido directamente de las excretas del ganado vacuno y porcino con el que cuenta la región Ciénega correspondiente al Estado de Michoacán de Ocampo, México. En este estudio se empleó información del último censo agropecuario del INEGI (Instituto Nacional de Estadística y Geografía) para conocer la población de ganado, posteriormente, se

estableció una cantidad de estiércol por tipo de animal y edad acorde a un tamaño promedio. El objetivo principal de este trabajo es estimar el potencial que tiene esta región para la producción de biogás a través de las excretas. Se calculó la cantidad de estiércol total y posteriormente se estimó la cantidad aproximada de biogás que se podría obtener obteniendo 15 144  $m^3$  de biogás a partir de 399 370 kg de estiércol al día, así como la energía eléctrica posible a generarse. Representando un ahorro de energía eléctrica de 4,23% que corresponde para 2013 a un monto de \$18 300 000 pesos aproximadamente, con un costo promedio de 2,326 pesos por cada kWh en una tarifa 5A de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) de México.

Si bien es cierto se usó un recurso diferente al de este estudio para la producción de biogás, se garantizó es la generación de energía eléctrica a partir del biogás el que viene siendo el principal objetivo de la presente investigación. Además el autor menciona los beneficios económicos que se obtiene al implementar el sistema, principalmente en el ahorro de montos de energía eléctrica.

Dioha, Ikeme, Nafi'u, Soba and Yusuf [7], in his research on the **effect of carbon on nitrogen ratio on biogas production**, he states that various parameters such as slurry concentration, pH, humidity, total solids, temperature and C / N ratio are among the main parameters that affect the production of biogas. The objective of this work is to find out the extent of the effect of the C / N ratios of substrates on biogas yields. The carbon and nitrogen contents of various biogas feedstocks were determined using standard methods and the volume of biogas produced by the substrates was measured using the graduated gas cylinder. The results show that the carbon to nitrogen ratio affects the volume of biogas generated. The production of biogas depends to a large extent on the choice of raw material and its carbon-nitrogen ratio since it was found that the optimum biogas yield is in the range of the C / N ratio of 20 - 30: 1. Variation of the C / N values can affect the pH of a suspension. The increase in carbon content will lead to a higher carbon dioxide formation and a lower pH value, while a high nitrogen value will increase the production of ammonia gas which could increase the pH to the detriment of microorganisms.

Dioha, Ikeme, Nafi'u, Soba y Yusuf [7], en su investigación sobre **effect of carbon to nitrogen ratio on biogas production**, afirma que varios parámetros tales como concentración de lechada, pH, humedad, sólidos totales, Temperatura y relación C / N se encuentran entre los principales parámetros que afectan a la producción de biogás. El objetivo de este trabajo es averiguar el alcance del efecto de las relaciones C / N de sustratos en los rendimientos de biogás. Los contenidos de

carbono y nitrógeno de diversas materias primas de biogás se determinaron usando métodos estándar y el volumen de biogás producido por los sustratos se midió usando el cilindro de gas graduado. Los resultados muestran que la relación de carbono a nitrógeno afecta el volumen del biogás generado. La producción de biogás depende en gran medida de la elección de la materia prima y de su relación carbono-nitrógeno ya que se comprobó que el rendimiento óptimo de biogás está en el rango de la relación C / N de 20 - 30: 1. La variación de los valores de C / N puede afectar el pH de una suspensión. El aumento en el contenido de carbono dará lugar a una mayor formación de dióxido de carbono y un menor valor de pH, mientras que un alto valor de nitrógeno aumentará la producción de gas amoníaco que podría aumentar el pH en detrimento de los microorganismos.

Por lo tanto, al demostrarse que la relación carbono nitrógeno tiene un efecto o relación con la producción de biogás, conlleva a que en el presente estudio se vea en la necesidad de analizar la relación C/N de la materia prima que en este caso es la pulpa de café. Las cantidades de carbono y nitrógeno van a determinar que el valor de pH sea menor o mayor en el proceso de producción de biogás.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. Pulpa de café

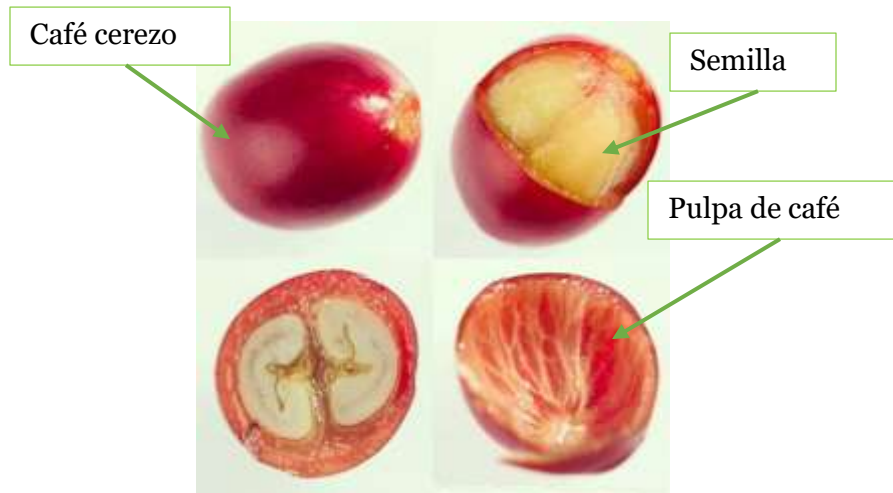
La pulpa de café es un material fibroso mucilaginoso y se genera durante el procesamiento del café por vía humedad (beneficio húmedo) y en este caso se conoce como *pulpa de café* y constituye cerca del 40 % del peso fresco de la cereza de café. Por cada tonelada de *café cerezo* procesada por esta vía se genera cerca de media tonelada de pulpa. Cuando el procesamiento del café se realiza por vía seca (beneficio seco), se denomina como *cáscara de café* y solo se generan 90 kilogramos [8]. En la tabla 1 se muestra algunas características de la composición físico – químico de la pulpa de café en la que destaca su alto porcentaje de humedad (74,83%).

**Tabla 1 - Composición físico - químico de la pulpa de café**

pH %	Humedad %	Cenizas %	Nitrógeno %	Fósforo %	Potasio %
4,40	74,83	6,6	1,76	0,13	2,82

Fuente: Rodríguez, 2011 [9].

En la figura 1 se señala las partes de grano de café cerezo que viene directamente del campo o la planta, en la que se destaca principalmente a la semilla o café (producto principal) y la capa que lo protege que viene a ser la pulpa de café (residuo principal, materia de estudio).



**Figura 1 - Partes del grano de café cerezo**

Fuente: Google images

### **2.2.2. Proceso de beneficiado del café**

El café cerezo, es el fruto obtenido directamente de las plantas de café, y es la materia prima principal que entra al proceso de beneficiado de café el cual empieza en el despulpado.

#### **2.2.2.1. Despulpado**

El despulpado es el principal proceso que consiste en la extracción de la pulpa del grano de café, por lo que por un lado sale la pepa o granos de café húmedo, el cual es el producto principal; y por otro lado sale la pulpa de café, residuo principal del proceso. La relación en peso del producto principal con el residuo, o del grano de café húmedo con la pulpa de café es de aproximadamente 6:4.

#### **2.2.2.2. Fermentación**

Una vez obtenido el grano de café húmedo, este se almacena a una temperatura ambiente con el fin de ser fermentado, esto permite que el siguiente proceso se pueda llevar de la mejor manera. El tiempo de fermentación, según recomendaciones de algunos expertos es de aproximadamente 18 horas.

### **2.2.2.3. Lavado**

Después de haber fermentado un determinado tiempo, el café pasa al lavado que consiste en quitar la miel que queda pegado al grano de café, por medio de la inmersión y paso de una corriente de agua en un canal de correteo o clasificación utilizando paletas de madera, o también se realiza en envases como la utilización de mallas; a todo esto es considerado como el lavado natural ya que según la Asociación Nacional del Café de Guatemala [10], también existe un lavado mecánico del café que se da mediante bombas de impulsor abierto, combinando una clasificación en canales rectos con una pendiente uniforme de 0,75%, se trata de dar al canal un flujo laminar constante que permita la clasificación del café recién lavado. La economía de agua en esta operación complementa la eficacia del sistema de recirculación de agua que debe usarse en las operaciones de beneficiado húmedo. Las características hidráulicas del lavado de las plantas agroindustriales, están basadas en el uso mínimo de agua.

### **2.2.2.4. Secado**

En [10] afirma que el secamiento al sol del café es la práctica más común en la actualidad, en lugares donde puede aprovecharse la energía solar y la energía propia del aire, además los costos de inversión en equipos y los costos de operación son razonablemente más bajos por lo mismo que se hace uso de recursos de la naturaleza. Algunas recomendaciones generales que menciona el autor para el proceso de secado son:

- a.** El grosor del café lavado en el patio es de 5 a 6 centímetros y debe moverse constantemente para obtener un punto parejo. Por cada metro cuadrado de patio caben aproximadamente 70 libras de café lavado (50-55% de humedad).
- b.** De ninguna manera se deben mezclar cafés de diferentes soles, el secamiento es disperejo y afecta su calidad.
- c.** No debe extenderse el café cuando el patio esté muy caliente, se puede rajarse el pergamino, de preferencia aprovechar las primeras horas de la mañana.
- d.** Los patios deben limpiarse todos los días, para evitar que se contamine la partida nueva.
- e.** Construir los patios de concreto con una pendiente longitudinal máxima del 2%.
- f.** Construir casillas para resguardar el grano en caso de lluvia y por la noche, o en caso de otras materias ajenas al café, como hojas, polvo, etc.

Por otro lado, pero menos común, también existe el secado mecánico que se realiza a través de secadoras tipo Guardiola de diferentes capacidades (es una máquina secadora para llevar el café pergamino a su punto óptimo de secado para el morteadado o almacenamiento), en zonas de condiciones climáticas limitantes. Es preferible combinar el escurrimiento del grano (en patio), con un sistema mecánico tipo Guardiola, que consiste en:

- Una fuente de calor (horno o calorífero).
- Un ventilador para forzar el aire caliente a través del grano.
- Una estructura en compartimientos donde se colocará la carga de café a secar.

#### **2.2.2.5. Almacenado**

Una vez secado el café, el cual se debe encontrar aproximadamente con 12% de humedad, este es almacenado comúnmente en sacos de polipropileno. Se debe tener mucho cuidado con respecto a las condiciones en la que el café va a ser almacenado, esto incluye el porcentaje de humedad, el envase en los que están contenidos, y la temperatura del lugar, todo esto con el fin de no perder la calidad del producto.

#### **2.2.3. Residuos sólidos**

Como sostiene el Ministerio de Salud [11], definen y clasifican a los residuos de la siguiente manera:

Se denomina o entiende como residuos sólidos aquellas sustancias, productos o subproductos en estado sólido o semisólido de los que su generador dispone, o está obligado a disponer.

##### **2.2.3.1. Clasificación**

- a. Domiciliario;** son aquellos residuos generados en las actividades domésticas realizadas en los domicilios. Estos comprenden los restos de alimentos, periódicos, revistas, botellas, embalajes en general, latas, cartón, pañales descartables, restos de aseo personal y otros similares.

- b. Comerciales;** Son aquellos generados en los establecimientos comerciales de bienes y servicios, tales como centros de abastos de alimentos, restaurantes, supermercados, tiendas, bares, bancos, oficinas de trabajo, entre otras actividades comerciales y laborales análogas.
- c. Residuo de limpieza de espacios públicos;** Son aquellos residuos generados por los servicios de barrido y limpieza de pistas, veredas, plazas, parques y otras áreas públicas, independientemente del proceso de limpieza utilizado. El barrido de calles y espacios públicos puede realizarse de manera manual o con la ayuda de equipamiento
- d. Residuo industrial;** Son aquellos que se presentan como lodo, ceniza, escoria metálica, vidrio, plástico, papel, cartón, madera, fibra, que generalmente se encuentran mezclados con sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, entre otros, incluyendo en general los residuos considerados peligrosos.
- e. Residuo de las actividades de construcción;** son aquellos residuos fundamentalmente inertes que son generados en las actividades de construcción y demolición de obras, tales como edificios, puentes, carreteras, represas, canales y otros similares.
- f. Residuo agropecuario;** son aquellos residuos generados en el desarrollo de las actividades agrícolas y pecuarias. Estos residuos incluyen los envases de fertilizantes, plaguicidas, agroquímicos diversos, entre otros.

### **2.2.3.2. Residuos sólidos orgánicos**

Los residuos orgánicos son los residuos cuyo origen es fundamentalmente biológico y participan mayoritariamente en su composición sustancias orgánicas con elevada presencia de C, H y O, y en menor medida N, P y S así como otros elementos en menor concentración; y estos residuos orgánicos representan cerca del 60 % de la totalidad de los residuos existentes [12].

### **2.2.3.3. Sistemas de tratamiento de residuos sólidos orgánicos**

#### **a. Digestión aeróbica**

En el “Manual de biogás” de la FAO [13], sobre la digestión aeróbica, nos menciona lo siguiente:

La digestión aeróbica consiste en procesos realizados por diversos grupos de microorganismos, principalmente bacterias y protozoos que, en presencia de oxígeno actúan sobre la materia orgánica disuelta, transformándola en productos finales inocuos y materia celular. En el proceso de la digestión aeróbica los lodos son sometidos a una aireación prolongada en un tanque separado y descubierto. El proceso involucra la oxidación directa de la materia orgánica biodegradable y la autooxidación de la materia celular.

La digestión aeróbica presenta diversas ventajas dentro de las cuales destacan la facilidad de operación del sistema, bajo capital de inversión comparada con la digestión anaeróbica, no genera olores molestos, reduce la cantidad de coliformes fecales y por lo tanto, de organismos patógenos, produce un sobrenadante clarificado con una baja DBO<sub>5</sub>, con pocos sólidos y poco fósforo. El proceso presenta también sus desventajas, entre las que se suele mencionar los altos costos de operación causados por los altos consumos de energía, la falta de parámetros y criterios claros para el diseño y la dificultad que presentan los lodos digeridos aeróbicamente para ser separados mediante centrifugación y filtración al vacío.

#### **b. Digestión anaeróbica**

La digestión anaeróbica es un proceso biológico complejo y degradativo en el cual parte de los materiales orgánicos de un substrato (residuos animales y vegetales) son convertidos en biogás, mezcla de dióxido de carbono y metano con trazas de otros elementos, por un consorcio de bacterias que son sensibles o completamente inhibidas por el oxígeno o sus precursores (e.g.  $H_2O_2$ ). Utilizando el proceso de digestión anaeróbica es posible convertir gran cantidad de residuos, residuos vegetales, estiércoles, efluentes de la industria alimentaria y fermentativa, de la industria papelera y de algunas industrias químicas, en subproductos útiles. En la digestión anaerobia más del 90% de la energía disponible por oxidación directa se transforma en metano, consumiéndose sólo un 10% de la energía en crecimiento bacteriano frente al 50% consumido en un sistema aeróbico [13].

Camps y Marcos [14] define a la digestión anaeróbica como el proceso biológico por el cual la materia orgánica, en un medio con carencia de oxígeno y por medio de bacterias específicas, se

descompone en productos gaseosos o “biogás”, en otros sólidos donde se encuentran la mayor parte de los componentes minerales (N, P, K, Ca,...) y por último aquellos de difícil degradación. El biogás contiene un porcentaje de metano alto en su composición (50 – 70%), pudiéndose aprovechar energéticamente. La bioquímica y microbiología de los procesos anaerobios es más complicada que en los procesos aerobios, debido a la existencia de numerosas rutas que puede utilizar una comunidad anaerobia para la bio-conversión de la sustancia orgánica. Estas rutas y mecanismos no se conocen al detalle, pero en los últimos años se ha desarrollado un estudio importante en este sentido. Además, afirma que en principio el proceso anaerobio se puede describir por medio de tres fases. Una fase de hidrólisis en la que las macromoléculas se descomponen en productos más simples. Una segunda fase de acidogénesis-acetogénesis, durante la cual se forman ácidos orgánicos y ácido acético. Y una tercera fase de metanogénesis con producción de metano.

#### **2.2.4. Producción de biogás**

##### **2.2.4.1. Definición**

Es una mezcla gaseosa formada principalmente de metano y dióxido de carbono, pero también contiene diversas impurezas. La composición del biogás depende del material digerido y del funcionamiento del proceso. Cuando el biogás tiene un contenido de metano superior al 45% es inflamable [13].

##### **2.2.4.2. Características**

El biogás con un 60% de metano, tiene un poder calorífico de unas 5 500 kcal/m<sup>3</sup>. Su densidad es de 1,2 kg/m<sup>3</sup> y su punto de inflamación es 600 °C. Si se elevara el porcentaje de metano al 70%, 1 m<sup>3</sup> del mismo podría sustituir a 0,6 m<sup>3</sup> de gas natural, o 0,8 litros de gasolina, o 0,3 kg de carbón, cantidades todas ellas de gran interés desde el punto de vista social, medioambiental y económico [14]. En la tabla 2 se señala las características generales que contiene el biogás en la que es necesario rescatar el porcentaje de metano que contiene y su contenido energético el cual es importante para el éxito de esta investigación.

**Tabla 2 - Característica generales del biogás**

Composición	55 - 70 % metano (CH <sub>4</sub> )
	30 - 45 % dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )
	Trazas de otros gases
Contenido energético	6,0 - 6,5 kW h/m <sup>3</sup>
Equivalente de combustible	0,60 – 0,65 L petróleo/m <sup>3</sup> biogás
Límite de explosión	6 - 12 % de biogás en el aire
Temperatura de ignición	650 - 750°C (con el contenido de CH <sub>4</sub> mencionado)
Presión crítica	74 - 88 atm
Temperatura crítica	-82,5°C
Densidad normal	1,2 kg /m <sup>3</sup>
Masa molar	16,043 kg/kmol

Fuente: Deublein y Steinhauser, 2008 [15].

#### **2.2.4.3. Factores determinantes en el proceso metanogénico (producción de biogás)**

Es importante examinar algunos factores importantes que conducen el proceso metanogénico, de las cuales en esta oportunidad se estudia; la relación carbono/nitrógeno, niveles de sólidos totales y sólidos volátiles, temperatura, tiempo de retención hidráulico y, rangos de pH y alcalinidad [13].

##### **a. Relación Carbono/nitrógeno de las materias primas**

El carbono y el nitrógeno son las principales fuentes de alimentación de las bacterias metanogénicas. Por un lado el carbono constituye la fuente de energía y por otro lado el nitrógeno es utilizado para la formación de nuevas células. La relación óptima de estos dos elementos en la materia prima se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1. Por lo tanto, si no se tiene un residuo con una relación C/N inicial apropiada, será necesario hacer mezclas de materias en las proporciones adecuadas con el fin de obtener la relación C/N óptimas [13].

### **b. Niveles de sólidos totales y sólidos volátiles**

Es importante conocer el porcentaje de sólidos totales (ST) de la materia prima para asegurar que el proceso se efectúe satisfactoriamente, ya que la movilidad de las bacterias metanogénicas dentro del sustrato se ve crecientemente limitada a medida que se aumenta el contenido de sólidos y por lo tanto puede verse afectada la eficiencia y producción de gas. Y en el caso para una carga en digestores semicontinuos no debe tener más de un 8% a 12% de sólidos totales para asegurar el correcto funcionamiento del proceso [13].

Los sólidos volátiles (SV) son aquella porción de sólidos totales que se libera de una muestra, volatilizándose cuando se calienta durante dos horas a 600°C, y estos contienen componentes orgánicos, los que teóricamente deben ser convertidos a metano [13].

### **c. Temperatura**

En la mayoría de sistemas biológicos, como el proceso anaeróbico, la temperatura es esencial, ya que la reacción de estos procesos depende de la temperatura, es decir, a medida que la temperatura es más alta lo cual acelera el proceso de digestión, mayor será la producción de biogás [13]. En la tabla 3 se distinguen tres clases de fermentación en relación a la temperatura que se da la digestión anaeróbica de los residuos, la más común es la *Mesophilica* ya que su fermentación se encuentra generalmente a temperatura ambiente y de esto depende el tiempo que tarda el proceso de fermentación.

**Tabla 3 - Rangos de temperatura y tiempo de fermentación anaeróbica**

<b>Fermentación</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Óptimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Tiempo de fermentación</b>
<i>Psycrophilica</i>	4-10 °C	15-18 °C	20-25 °C	Sobre 100 días
<i>Mesophilica</i>	<b>15-20 °C</b>	<b>25-35 °C</b>	<b>35-45 °C</b>	<b>30-60 días</b>
<i>Thermophilica</i>	25-45 °C	50-60 °C	75-80 °C	10-15 días

Fuente: Lagrange, 1979 [16].

#### **d. Tiempo de retención hidráulico (TRH)**

Tiempo de retención hidráulico se designa al volumen de sustrato orgánico cargado diariamente al digestor, a medida que se incremente la carga volumétrica disminuye el tiempo de retención. El TRH también depende de la temperatura, ya que a mayor temperatura, menor es el tiempo de retención.

En un sistema de régimen semicontinuo, el tiempo de retención va a determinar el volumen diario de carga que será necesario para alimentar al digestor, ya que se tiene la siguiente relación [13]:

$$\frac{\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)}}{\text{Tiempo de retención (días)}} = \text{Volumen de carga diaria m}^3\text{/día} \quad (1)$$

Es decir, que para un tiempo de retención de 25 días, cada día se carga 1/25 del volumen total del digestor, lo que en promedio los residuos permanecerán 25 días dentro del sistema.

#### **e. Rangos de pH y alcalinidad**

El nivel de pH también afecta en el proceso anaeróbico, los microorganismos metanogénicos son más susceptibles a las variaciones de pH que los otros microorganismos de la comunidad microbiana anaeróbica. El valor de pH en el digestor no sólo determina la producción de biogás sino también su composición, y para que el proceso se realice satisfactoriamente, el pH no debe bajar de 6,0 ni subir de 8,0. Si sucede el caso de que el nivel de pH sea menor que 6,0, el biogás generado es muy pobre en metano por lo que hace que tenga menores cualidades energéticas [13].

### **2.2.5. Biodigestores**

#### **2.2.5.1. Tipos de biodigestores**

Los biodigestores varían ampliamente de acuerdo con su complejidad y utilización. Los más sencillos caen dentro de la clasificación de digestores discontinuos o de cargas por lotes y los más complejos se caracterizan por poseer dispositivos que permiten alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación. Por lo tanto, resulta conveniente clasificarlos según su modo de operación con relación a su alimentación o carga en los siguientes tipos: Continuos, semi continuos y discontinuos [13].

### **a. Continuos**

Cuando la alimentación del digestor es un proceso ininterrumpido, el efluente que descarga es igual al afluente o material de carga (que entra al digestor), con producciones de biogás, uniformes en el tiempo. Son utilizados principalmente para el tratamiento de aguas negras. Corresponde a plantas de gran capacidad, tipo industrial, en las cuales se emplean equipos comerciales para alimentarlos, proporcionándoles calefacción y agitación, así como para su control. Dado que se genera una gran cantidad de biogás, habitualmente, éste se aprovecha en aplicaciones industriales.

### **b. Semi continuos**

Cuando la primera carga que se introduce al digestor consta de una gran cantidad de materias primas. Posteriormente, se agregan volúmenes de nuevas cargas de materias primas (afluente), calculados en función del tiempo de retención hidráulico (TRH) y del volumen total del digestor. Se descarga el efluente regularmente en la misma cantidad del afluente que se incorporó. Este proceso es usado en el medio rural, cuando se trata de sistemas pequeños para uso doméstico. Los diseños más populares son el digestor Indiano y Chino.

### **c. Discontinuos.**

Los digestores se cargan con las materias primas en una sola carga o lote. Después de un cierto período de fermentación, cuando el contenido de materias primas disminuye y el rendimiento de biogás decae a un bajo nivel, se vacían los digestores por completo y se alimentan de nuevo dando inicio a un nuevo proceso de fermentación. Esto se conoce también como digestores Batch o Batelada.

En efecto, el tipo de biodigestor que se asocia a esta investigación es el *semi continuo* ya que su modo de operación con relación a la alimentación o carga se da de acuerdo a la disponibilidad de la materia prima (pulpa de café), en este caso en la ASNM no dispone todos los días ni a toda hora la pulpa de café, por lo que el biodigestor se irá recargando de acuerdo a la pulpa obtenida.

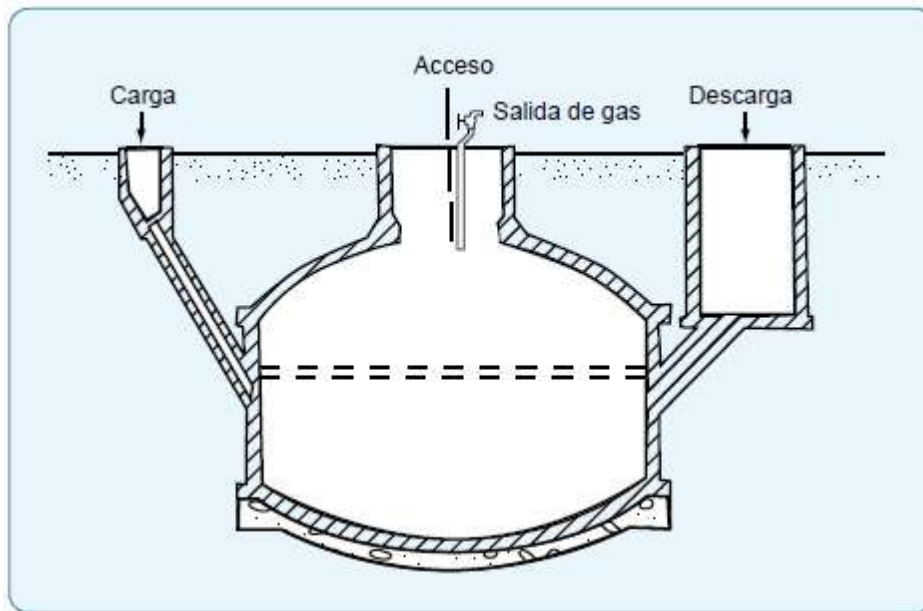
#### **2.2.5.2. Modelos de biodigestores**

En el manual de biogás de la FAO encontramos los modelos de biodigestores más comunes que son utilizados, tales como el modelo chino, modelo hindú y el modelo horizontal que se describirá a continuación [13]:

### a. Modelo Chino

Los digestores de del modelo chino son tanques cilíndricos con el techo y el piso en forma de domo y se construyen totalmente enterrados, lo que permite que se lleve a cabo la digestión anaerobia.

Para el caso del biodigestor de modelo chino, el proceso se da inicio con el llenado de residuos agrícolas compostados mezclados con lodos activos de otro digestor, a través de la cubierta superior, que es removible. Una vez cargado así, es alimentado diariamente con los residuos que se encuentren disponibles, provenientes de la letrina y de los animales domésticos, esto se da a través del tubo de carga el cual llega a la parte media del digestor, como se puede apreciar en la figura 2.



**Figura 2 - Biodigestor de modelo chino**

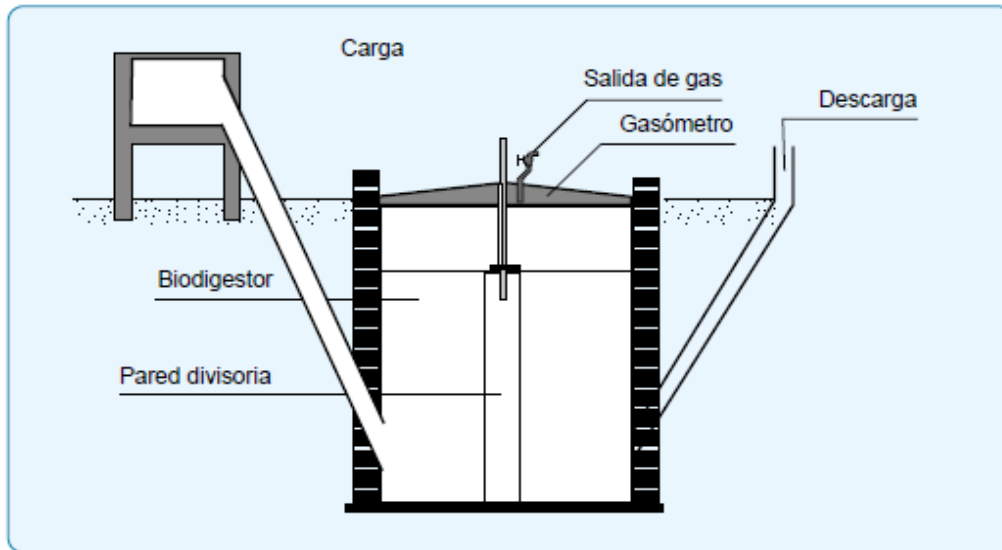
Fuente: FAO, 2011 [13].

### b. Modelo Hindú

Para Hilbert y Eppel [17], estos digestores en general son enterrados y verticales, semejando a un pozo. Se cargan por gravedad una vez al día, con un volumen de mezcla que depende del tiempo de fermentación o retención y producen una cantidad diaria más o menos constante de biogás si se mantienen las condiciones de operación.

El gasómetro está integrado al sistema, o sea que, en la parte superior del pozo flota una campana donde se almacena el gas. De esta forma, la presión del gas sobre la superficie de la mezcla es muy

baja, de alrededor de 30 cm de columna de agua. Con esta campana se logra, además, una presión constante, lo que permite una operación eficiente de los equipos a los que alimenta. La campana también ayuda al rompimiento de la espuma que se forma en muchos biodigestores, este tipo de biodigestor se observa en la figura 3.

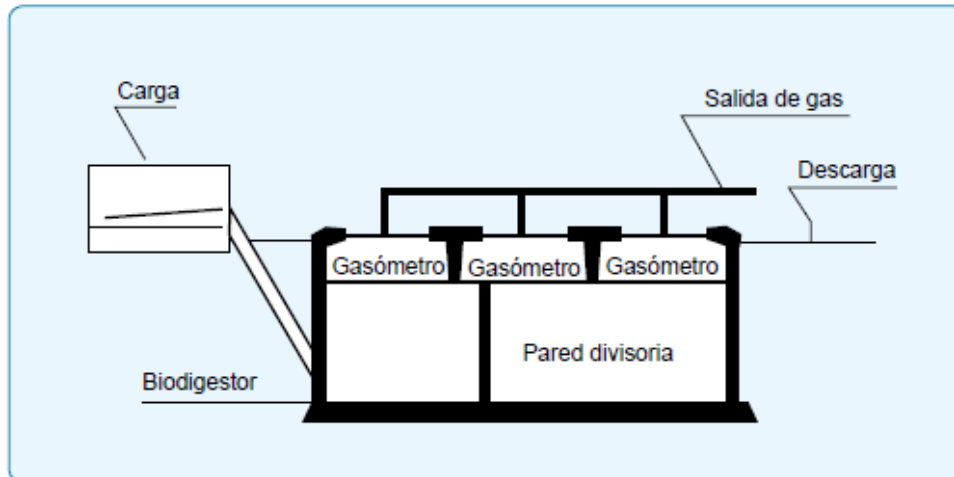


**Figura 3 - Biodigestor de modelo Hindú**

Fuente: FAO, 2011 [13].

### **c. Modelo horizontal**

Los digestores de modelo horizontal se construyen generalmente debajo de la tierra, es decir, enterrados, son poco profundos y alargados, semejando un canal, con relaciones de largo a ancho de 5:1 hasta 8:1 y sección transversal circular, cuadrada o en "V". Se operan a régimen semi continuo, entrando la carga por un extremo del digestor y saliendo los lodos por el extremo opuesto. La cúpula puede ser rígida o de algún material flexible que no presente fugas de gas y que resista las condiciones de la intemperie, tiene conexiones de entrada o carga y de salida de los subproductos como se aprecia en la figura 4. Este modelo de digestor normalmente se construye debajo de la tierra, sin embargo, también es posible la construcción encima de la tierra, esto depende de varios factores como las condiciones de lugar, materias primas, etc. [13].



**Figura 4 - Biodigestor de modelo Horizontal**

Fuente: FAO, 2011 [13].

### 2.2.6. Usos del biogás

El biogás es un combustible en forma de gas que hasta el momento se ha aprovechado poco, sin embargo lentamente está teniendo más valor, sobre todos en zonas donde el costo energético es alto o donde no hay ningún tipo de energía. Los usos más comunes que se le da al biogás son los siguientes [13]:

#### 2.2.6.1. Producción de calor o vapor

La obtención de energía térmica o calor es una de las formas más simples de ser usado el biogás, esto genera mayor ventaja principalmente en lugares donde se escasea el combustible, este biogás nos permite usarlo para la cocina, calentar el agua.

#### 2.2.6.2. Generación de electricidad

Existen varios tipos y modelos de generadores eléctricos que permiten usar el biogás como fuente para la obtención de electricidad. Este biogás normalmente primero se le hace na purificación para que luego este ingrese directo a un generador eléctrico exclusivamente a producir electricidad a partir del gas. Por ejemplo uno de los generadores que nos permite llevar a cabo esta actividad son los grupos electrógenos.

En cuanto a los generadores eléctricos que funcionan con gas, Paredes y Baca [18], consideran algunos requisitos para operación en una turbina a gas:

- Se requiere en el gas un valor calorífico superior a  $4\ 200\ \text{kJ/m}^3$ . Y cabe indicar que gases como el gas natural y el biogás superan dicho valor por lo que se asegura que es posible la generación de electricidad.
- El gas debe estar libre de alquitrán y de polvo (para reducir al máximo el desgaste de la máquina)
- Debe estar frío para lograr la máxima admisión de gas en la turbina y la mayor potencia de salida.

#### **a. Motores de combustión interna**

Paredes y Baca [18] también nos menciona que en los motores de Ciclo Otto el carburador convencional es reemplazado por un mezclador de gases. Estos motores arrancan con nafta y luego trabajan con un 100% de biogás con una merma de la potencia máxima del 20% al 30%.

Por otro lado los posibles usos del gas producido a partir de la biomasa vegetal el cual que a diferencia del biogás en el que se utiliza biodigestores, para la biomasa se utilizan generalmente gasificadores ya que es más conveniente al ser materiales con bajo porcentaje de humedad. Sin embargo, el gas producido en el gasificador tiene que pasar a un enfriamiento por lo que de esta manera se obtendría un producto como el biogás, y a partir de este gas se puede usar en intercambiadores de calor, cámaras de combustión, o generación de energía eléctrica a través de turbinas de gas.

#### **b. Motor diésel**

En un material de estudio publicado por la Universidad de Buenos Aires [19], se afirma que en el caso de los motores diésel, el biogás puede reemplazar hasta el 80% del gasoil. Es decir, debido a la baja capacidad del de ignición del biogás no permite que el gasoil sea reemplazado en su totalidad por el biogás.

#### **c. Grupos electrógenos**

El grupo electrógeno es otra de las máquinas que permite la conversión de biogás a energía eléctrica, este mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.

### **2.2.6.3. Combustible para vehículos**

El uso del biogás en los vehículos es una realidad, para esto el biogás tiene que cumplir ciertos parámetros similares a lo del gas natural ya que los vehículos han sido condicionados para funcionar con gas natural.

### **2.2.7. Maquinaria existente para convertir el biogás en energía eléctrica**

La empresa Caterpillar [20] sobre los generadores de energía eléctrica a partir del biogás menciona (haciendo hincapié en sus productos) que un generador de biogás duradero y fiable puede generar importantes ahorros a largo plazo, además de ser ecológicamente responsable. El biogás, que se obtiene como un subproducto de muchos procesos industriales, agrícolas y de procesamiento de alimentos, se utiliza hoy en día como una fuente de combustible para generadores con motor. Los proyectos de biogás agrícola e industrial permiten:

- Reducir las emisiones de carbono a través de la destrucción natural del metano
- Ahorrar espacios de tierra valiosos que normalmente se utilizan para purificar el agua residual orgánica
- Eliminar olores y problemas molestos causados por la descomposición de materiales orgánicos

Además, esta empresa en su sitio web explica cómo funciona el proceso. El biogás, que consiste básicamente en metano y dióxido de carbono, se produce por la descomposición anaeróbica de los desperdicios orgánicos. En lugar de permitir una descomposición incontrolada de estos residuos y la liberación de gases a la atmósfera, estos se contienen en un biodigestor de biogás, en un ambiente privado de oxígeno, como piscinas cubiertas o depósitos de acero superficiales. De allí se extrae el metano y se quema para generar electricidad o calor.

Debido a las impurezas e inconsistencias en el biogás, generalmente se requiere un tratamiento previo. Sin embargo, la utilización de un motor a gas diseñado específicamente para funcionar con biogás puede reducir la inversión en el tratamiento previo. Los grupos electrógenos de combustible de bajo consumo energético de Cat están diseñados para manejar el combustible con variaciones en el contenido de metano típico de las operaciones de biogás.

Así como Caterpillar, existen otras empresas en el Perú que ofrecen generadores eléctricos con biogás tales como: Vielco, Edipesa, Rivera Diesel, Modasa, entre otros. Estas empresas

comercializan generadores de marca Cat, Generac, Briggs & Stratton, Modasa. En la Figura 5 se muestran algunos generadores existentes en el mercado.



**Figura 5 – Generadores electricos existentes.**

Fuente: Sitios web de: Caterpillar, Riverda disiel, Vielco, y Modasa

Para esta investigación, más adelante se hace la comparación de tres generadores de las más moderadas potencias ya que se dispone y se necesita pocas cantidades, también conocidos como generadores comerciales o domésticos por la producción a pequeña escala. Para uso industrial existen grupo electrógenos o generadores de acuerdo a la cantidad que se necesita o capacidad de recursos que se tiene para producir.

### **2.2.8. Herramientas para el análisis y evaluación de proyectos**

Entre las herramientas financieras más comunes para la evaluación y selección de proyectos de investigación tenemos al valor actual neto y la tasa interna de retorno, el cual Mete [21] los define de la siguiente manera:

#### **2.2.8.1. Valor Actual Neto (VAN)**

El VAN de un proyecto es el valor actual/presente de los flujos de efectivo netos de una propuesta, entendiéndose por flujos de efectivo netos la diferencia entre los ingresos periódicos y los egresos

periódicos. Para actualizar esos flujos netos se utiliza una tasa de descuento denominada tasa de expectativa o alternativa/oportunidad, que es una medida de la rentabilidad mínima exigida por el proyecto que permite recuperar la inversión, cubrir los costos y obtener beneficios.

### 2.2.8.2. Tasa Interna de Retorno (TIR)

El TIR es otro criterio utilizado para la toma de decisiones sobre los proyectos de inversión y financiamiento. Se define como la tasa de descuento que iguala el valor presente de los ingresos del proyecto con el valor presente de los egresos. Es la tasa de interés que, utilizada en el cálculo del Valor Actual Neto, hace que este sea igual a cero.

### 2.2.8.3. Modelo de pronóstico o proyección: Método de Regresión Lineal

El modelo de **pronóstico de regresión lineal** permite hallar el valor esperado de una variable aleatoria **a** cuando **b** toma un valor específico. La aplicación de este método implica un supuesto de linealidad cuando los valores a evaluar presentan un comportamiento creciente o decreciente [22].

Para realizar un pronóstico mediante el método de regresión lineal es necesario conocer la siguiente ecuación, el cual nos permite conocer la tendencia que tiene la producción en casos futuros.

$$Y = a + bX \quad (1)$$

Donde...

$$b = \frac{n \sum XY + \sum X \sum Y}{n \sum X^2 - (\sum X)^2} \quad (2) \quad a = \frac{\sum Y - b \sum X}{n} \quad (3)$$

### 2.2.9. Matriz de Leopold

La matriz de Leopold es un método que consiste en desarrollar una matriz con el objetivo de establecer relaciones causa – efecto de los impactos ambientales que hay en el proyecto ya sean positivos y/o negativos realizado con información cualitativa, dependiendo de las características presentes en cada estudio. Esta matriz es una lista de control bidimensional, pues, en una dimensión se muestran las características individuales de un proyecto (actividades, propuestas, elementos de impacto, etc.), mientras que en la otra dimensión se encuentran las categorías ambientales que pueden ser afectadas por el proyecto. [23].

### III. RESULTADOS

#### 3.1. DIAGNÓSTICO DEL PROCESO PRODUCTIVO DE BENEFICIADO DE CAFÉ EN LA ASOCIACIÓN SIERRA NORTE MINAS

##### 3.1.1. Asociación Sierra Norte Minas

La Asociación Sierra Norte Minas es un grupo de productores agropecuarios que está ubicado a unas coordenadas de 6°11'29.9"S 79°00'36.0"W en el Centro Poblado de Minas, distrito de Querocotillo, provincia de Cutervo en el departamento de Cajamarca. El Centro Poblado de Minas se encuentra a unos 1500 m.s.n.m, y con una temperatura ambiente aproximada que normalmente varía entre 20 – 30 °C. En la figura 6 se muestra la ubicación del Centro Poblado de Minas, lugar en la que está ubicada la Asociación.



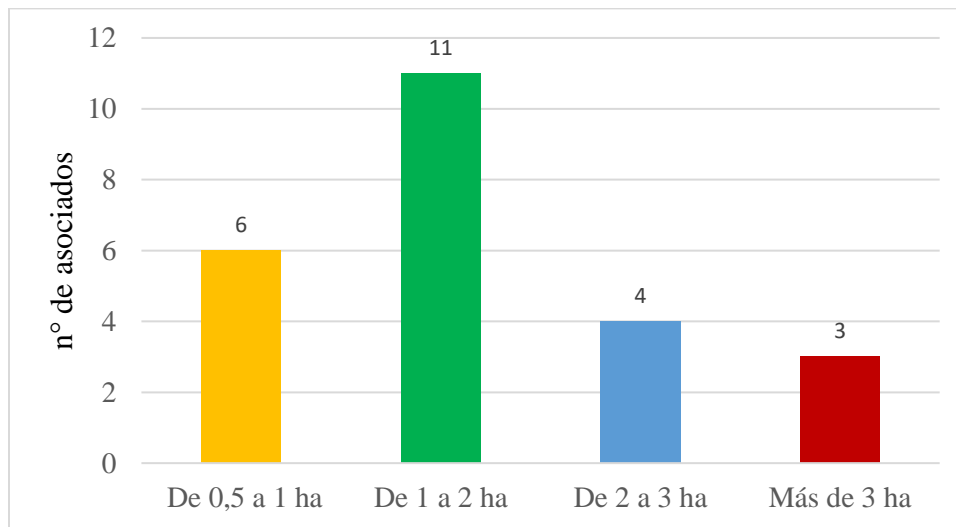
**Figura 6 - Ubicación de la Asociación Sierra Norte Minas**

Fuente: Google maps

Para obtener la información requerida se realizó visitas de campo, diálogo con miembros de la asociación, y principalmente una encuesta (ver anexo 2) que se aplicó a los 24 integrantes para que de esta manera tener información real y conocer su situación actual así como la problemática que ellos enfrentan con respecto a su actividad principal, la producción de café, y de esta manera plantear una posible solución.

Actualmente, la asociación está conformada por 24 miembros asociados (ver anexo 3) en la que todos afirmaron que su principal fuente de ingresos de sus familias es de productos agrícolas (anexo 4), todos se dedican principalmente al cultivo de café orgánico de variedad arábica como lo

indicaron en la encuesta (anexos 5 y 6), los cuales al 2017, cuentan con un total aproximado de 36 ha destinadas a la producción de café con una producción promedio de 6 141 kg de café cerezo por hectárea, siendo su principal fuente de ingresos de sus familias. En cuanto a la cantidad de hectáreas que maneja cada productor no es la misma, pues unos tienen más que otros, en la figura 7 se señala los productores y los rangos de ha. que manejan.



**Figura 7 - Hectáreas que manejan los productores de café**

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

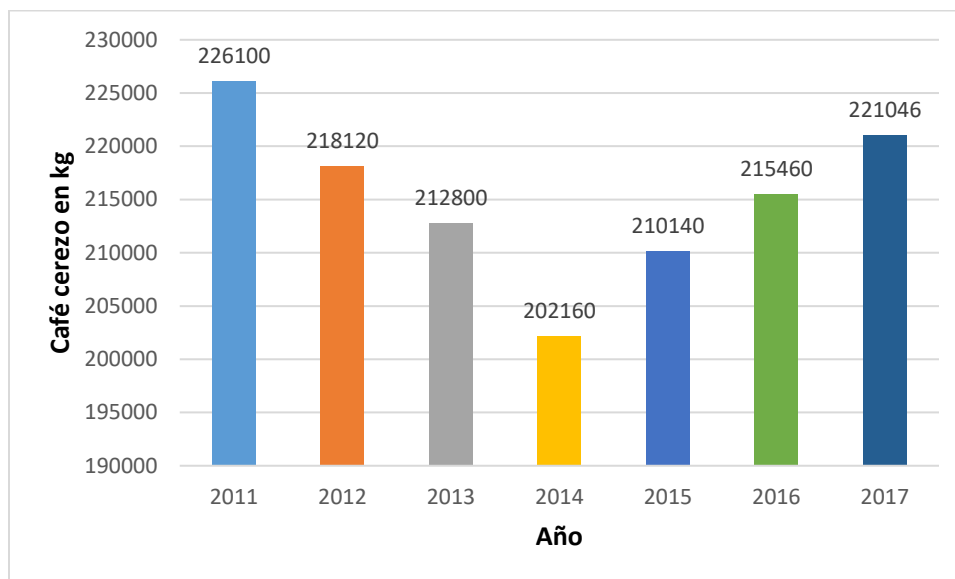
Además del café, en mínimas cantidades también cultivan otros productos que son: maíz, menestras y yuca, generalmente, para el autoconsumo. Cabe mencionar que los productores que pertenecen a esta asociación, crían al menos una especie de animales, que pueden ser gallinas, cuyes, cerdos y/o ganado vacuno. Por otro lado con la encuesta aplicada todos afirmaron que no perciben ingresos mensuales ya que son trabajadores independientes y sus productos agrícolas funcionan por campañas, es decir, generalmente sus ingresos mayores que reciben es en unos cuantos montos al año; sin embargo, al consultarles el valor promedio mensual aproximado, el 67% consideran ganar hasta S/ 1300 (ver anexo 7).

### 3.1.2. Producción de café

El lugar donde está ubicada la Asociación Sierra Norte Minas, es considerado por la población cercana como una comunidad cafetalera con climas adecuados para su producción, pues, esto se ve reflejado en el tipo de producción que realizan al ser todo orgánico, es decir, no utilizan insumos químicos. Además como toda planta, las plantaciones de café requieren de agua, sin embargo, en

la asociación no manejan algún sistema de riego tecnificado, solo se adaptan a las lluvias que les pone la naturaleza y caen sobre estas plantas; es preciso agregar que desde que se formaron como asociación (desde el 2015) diferentes instituciones privadas y del Estado les están brindando capacitaciones tanto de estilo teórico y práctico (ver anexos 8 y 9). Pero últimamente, en el lugar se siente el cambio climático, por lo que en tiempo de verano, principalmente las plantas pequeñas sienten el efecto del clima tales como el aumento de temperatura que rápidamente quema a las plantas si estas no tienen agua, heladas y fuertes lluvias, por lo que se debería ir pensando en instalar sistemas de riego para que esto no afecte el rendimiento de sus cultivos.

En la figura 8, se puede observar el comportamiento de producción de café según los últimos años, es muy parecido al comportamiento nacional que existe en este cultivo, la producción hasta el 2014 se fue reduciendo, principalmente por el clima y por algunas enfermedades y plagas que aparecieron. Sin embargo a partir del 2015 nuevamente empezó a recuperarse la producción, y según el Ministerio de Agricultura y Riego tiene proyectado un crecimiento de la producción en los siguientes años a nivel nacional.



**Figura 8 - Producción de café (cerezo) en los últimos años de la Asociación Sierra Norte Minas (kg).**

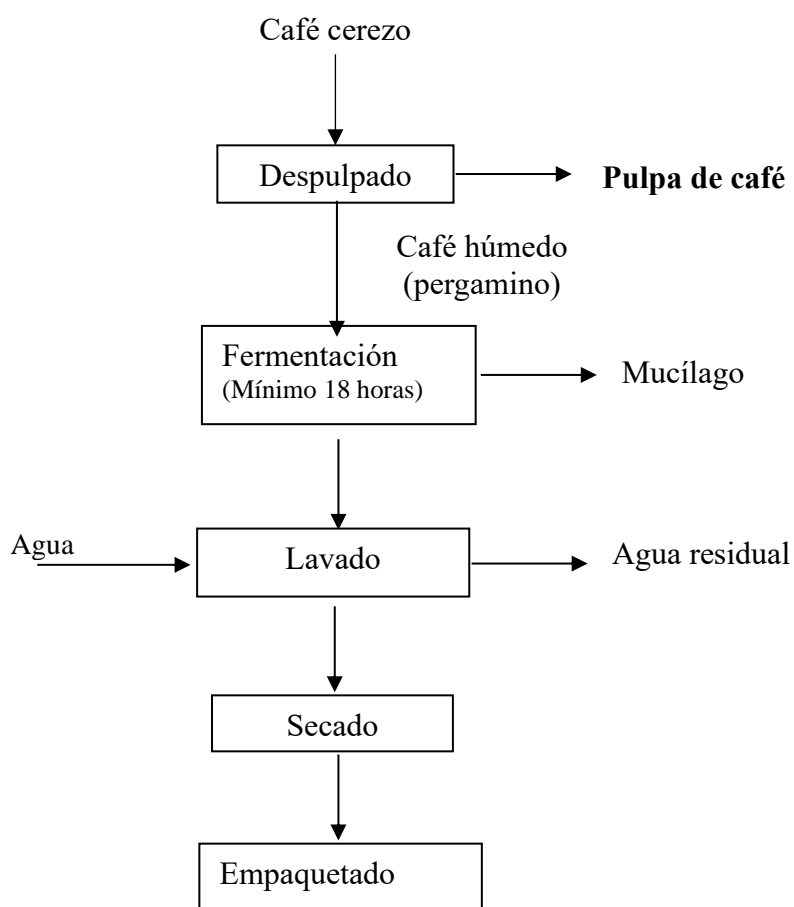
Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

En el 2017 en la Asociación Sierra Norte Minas cada productor o integrante de la asociación produjo una cantidad mínima de 10 quintales, el 68% de cafetaleros llegó a producir más de 20 quintales por cada campaña como se puede apreciar en el anexo 10, el cual se tiene estimado que

en los próximos años irán creciendo debido al aumento de extensión y el rendimiento de sus áreas de cultivo.

### 3.1.3. Proceso de beneficiado

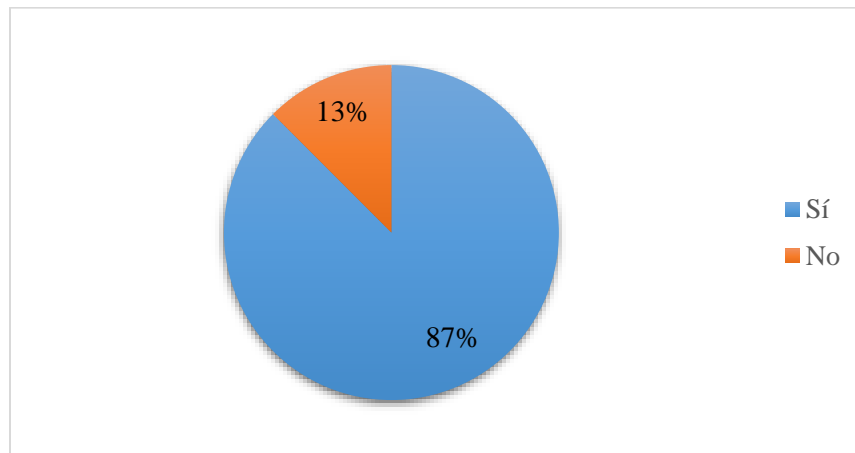
Existen principalmente dos procesos de beneficiado del café: el proceso de beneficiado seco y proceso de beneficiado húmedo del café, por lo tanto el productor puede elegir el que más le conviene. Aunque el proceso más común y de mayor conveniencia es el denominado proceso de beneficiado húmedo del café, el cual es el que se lleva a cabo en la Asociación Sierra Norte Minas, este proceso se muestra en la figura 9.



**Figura 9 - Diagrama de bloques del proceso de beneficiado de café**

Fuente: Asociación Sierra Norte – Minas

En el proceso de beneficiado que se lleva a cabo en la asociación la etapa principal e indispensable es la parte o etapa de despulpado, y para esto se utiliza una máquina llamada ‘despulpadora de café’. Dado la importancia del caso, la mayoría de productores cuentan con su máquina despulpadora independiente, y como se señala en la figura 10 solo un 13% son los que carecen de este artefacto.



**Figura 10 - Productores que cuentan con máquina despulpadora**

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

### **3.1.3.1. Descripción del proceso de beneficiado del café**

A continuación se describe el proceso de beneficiado de café que actualmente se lleva a cabo en la Asociación Sierra Norte Minas, esta información se obtuvo en base a experiencias vividas, encuestas y consultas realizadas a los miembros de la asociación.

El proceso de beneficiado del café empieza desde la recepción del grano de café en cerezo traído directamente de los campos de cultivo hacia la casa respectiva de cada productor (anexo 11). El medio de transporte que utilizan los productores para llevar el producto del campo de cultivo hacia sus casas depende las facilidades del caso, tales como distancia o disponibilidad del medio, lo más común es que a la mitad de su día de trabajo o en algunos casos al finalizar el día, cada trabajador o peón como se le dice en el lugar, lleva el café cosechado en sus respectivos depósitos (sacos de polipropileno) hacia el lugar del despulpado que generalmente son en las casas. Por otro lado cuando la distancia es más larga o los peones no pueden cargar su café cosechado, se utilizan como medio de transporte los caballos, burros y/o mulas. Y en ocasiones muy pocas, productores utilizan algún medio de transporte motorizado como puede ser moto lineal, moto carguera o carro.

Una vez que el café en cerezo ya se encuentra en el lugar, empieza el proceso del beneficiado:

- a. **Despulpado:** Este proceso inicia colocando el café cerezo en la tolva de la máquina despulpadora, siendo su capacidad 1 lata (1 lata = 14 kg). El despulpado es el principal proceso en el beneficiado el cual se encarga de separar la pulpa de café (residuo) del grano o semilla (producto principal). Como se observa en la figura 11, del café cerezo que entra en la máquina, se midió el peso de lo que entra a la despulpadora así como lo que sale del cual se calculó que el 42% es pulpa; 57 % es el producto principal, y existe un 1 % que se pierde en el proceso.

Actualmente, los productores de café de la asociación llevan a cabo el proceso de despulpado de manera manual en su totalidad, lo que conlleva a invertir bastante tiempo debido a las grandes cantidades que se acumula. Según los productores de esta asociación, en las capacitaciones que han tenido anteriormente, los técnicos les recomiendan que el café no debe pasar las 8 horas acumulado sin ser despulpado, de lo contrario el producto empieza a perder ciertos componentes que determinan su calidad; sin embargo, a pesar del conocimiento que tienen sobre este tema, en la mayoría de ocasiones los productores no pueden hacer el proceso de despulpado antes de las 8 horas lo que ocasiona la acumulación de grandes cantidades de café cerezo sin despulpar, como ya se mencionó anteriormente, el problema que conlleva al exceso de tiempo del café cerezo acumulado es la escases de mano de obra capaz de realizar este proceso; el hecho de que se lleve a cabo de manera manual, hace que se requiera tener buenas condiciones físicas ya que se necesita bastante fuerza, y pues, no cualquiera lo hace.

En las figuras 11, 12 y 13, se observa cómo se lleva a cabo actualmente el proceso de despulpado en la asociación, el grano o semilla del café (producto principal), y la pulpa que se obtiene respectivamente. A la pulpa de café no se le aplica ningún tratamiento y se descompone al aire libre creando una considerable polución.



**Figura 11 - Proceso de despulpado manual del café cerezo**

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas



**Figura 12 - Café acabado de ser despulpado (café húmedo)**

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas



(a) Pulpa de café al momento del despulpado      (b) Pulpa de café después de 15 días, en tierras agrícolas

### Figura 13 - Pulpa de café

Fuente: Asociación Sierra Norte – Minas

- b. **Fermentación:** Después del despulpado el café se almacena en sacos de polipropileno para que sea fermentado aproximadamente 18 horas con el fin de facilitar el proceso siguiente. En este proceso, durante el tiempo de fermentación va filtrando a través de los sacos, mieles que está pegado al grano de café.
- c. **Lavado:** El proceso de lavado, los productores de la asociación generalmente los realizan en los mismos sacos en las que ha sido almacenado en el despulpado y posteriormente fermentado, hay casos en que usan mallas, el cual tienen que tener cuidado en el tamaño de los agujeros ya que es probable que se escapen pequeñas cantidades de café. Para el lavado del café se necesita agua limpia y en grandes cantidades, el cual, para la mayoría no es problema conseguirlo ya que en el lugar hay varios manantiales de agua que brotan de la tierra.
- d. **Secado:** Una vez lavado el café, en el mismo momento los productores tienden carpas negras de polipropileno de diferentes medidas en pampas donde haya contacto directo con el sol, es decir, el secado que se realiza es de manera natural. El tiempo de secado es de acuerdo al clima que se encuentre en el momento del secado, que va desde 3 o 4 días bien soleados, o hasta 8 días con poca luz solar. El porcentaje de humedad ideal que debe tener el café al finalizar el secado es del 12 %. El café ya a estas condiciones, es decir seco, se le conoce más como café pergamino.

- e. **Empaquetado:** Finalmente, cuando el café ya está seco, los productores de la asociación recogen de las carpas y luego lo pesan en quintales de 57 kg para después depositar en sacos grandes y estar listos para su comercialización. En la Figura 14 se muestran el café listo para ser comercializados.



**Figura 14 - Café pergamino almacenado en sacos**

Fuente: Asociación Sierra Norte – Minas

### **3.1.3.2. Despulpado**

Debido a la importancia y por ser la parte principal de este estudio, se analizó detalladamente el proceso de despulpado que se lleva a cabo en la ASNM con el fin de desarrollar la propuesta de mejora. Este análisis consiste en determinar las actividades que se realizan durante el despulpado y sus respectivos tiempos que tardan en realizarse.

#### **a. Diagrama de análisis de procesos (DAP) del despulpado en el beneficiado del café**

Para tomar los tiempos a considerar en el diagrama de análisis de procesos (figura 15), se tomó el promedio de los tiempos que tarda un trabajador o peón en despulpar durante el día de trabajo. La unidad de medida que utilizan los productores en el despulpado es la “lata” (14 kg de café cerezo), sin embargo, para su venta lo realizan en quintales (1 quintal = 57 kg de café pergamino) después de pasar el proceso de fermentación, lavado y secado. Un peón despulpa en pequeños lotes de 7 latas ya que la capacidad real de los depósitos (sacos) para almacenar el grano de café despulpado es de 7 latas. Sin embargo, según la toma de tiempos se comprobó que el despulpado de la primera

lata no es el mismo que el último; al ser un trabajo fuerte y que requiere de mucho esfuerzo físico, conforme se va despulpando el trabajador se cansa o presenta desgaste físico la cual varía su rendimiento. En la tabla 4 se muestra los tiempos tomados del despulpado de una lata de café en cada lote:

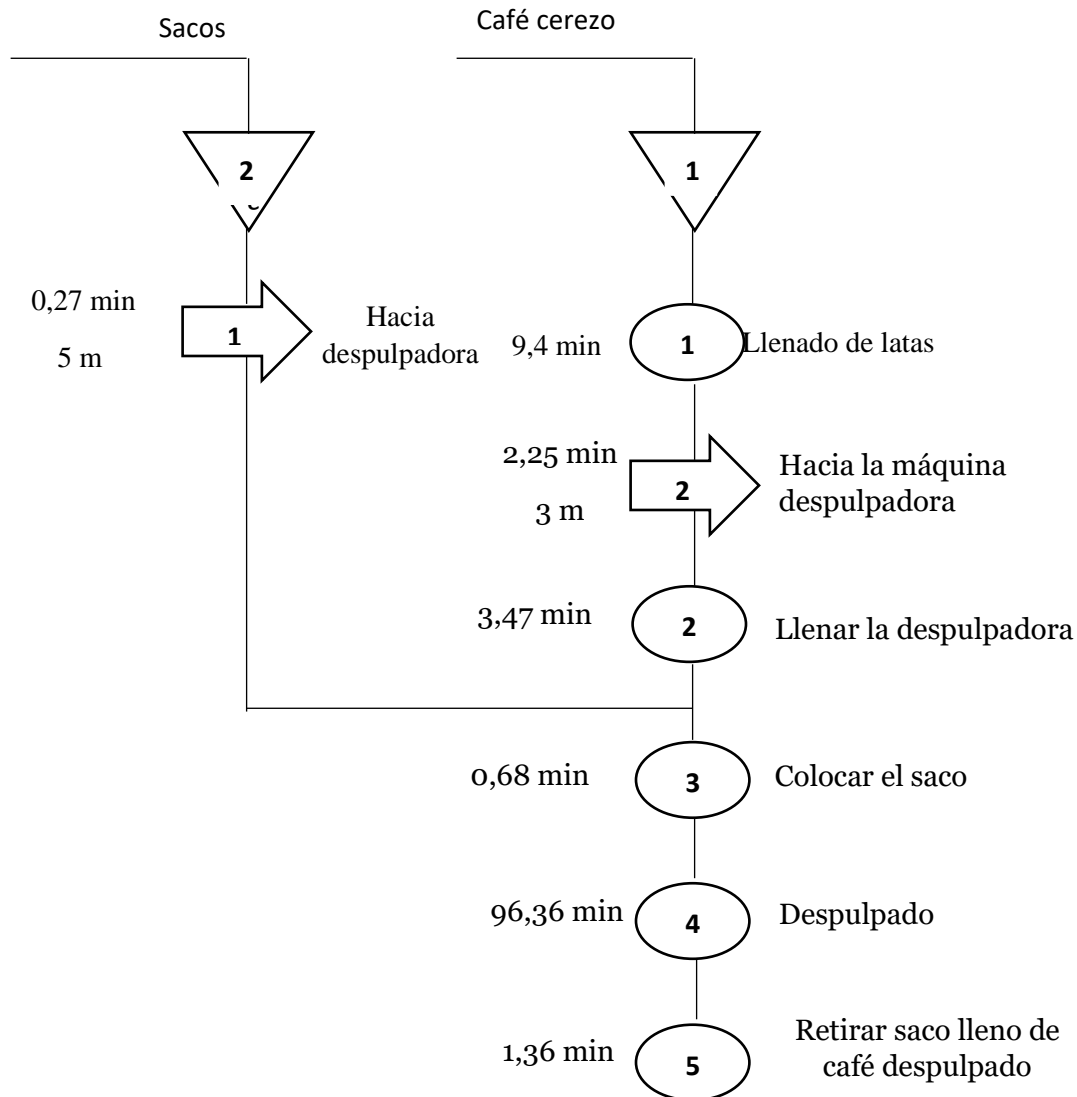
**Tabla 4 – Tiempo promedio del despulpado de una lata de café (min)**

Actividad	Tiempo L1	Tiempo L2	Tiempo L3	Tiempo L4	Tiempo L5	Tiempo L6	Tiempo L7	Promedio por cada lata
Traer el saco hacia despulpadora	0,10							0,01
Colocar el saco	0,25							0,04
Llenado de lata	1,50	0,75	0,50	0,50	1,50	1,20	1,20	1,02
Traslado de la lata llena hacia la despulpadora	0,10	0,12	0,10	0,12	0,11	0,13	0,15	0,12
Llenar la despulpadora	0,15	0,18	0,17	0,20	0,20	0,18	0,20	0,18
Despulpado	5	4,75	4,75	5	5	5,50	5,50	5,07
Retirar saco lleno de café despulpado							1	0,07
<b>TOTAL</b>	<b>7,10</b>	<b>5,80</b>	<b>5,52</b>	<b>5,82</b>	<b>6,81</b>	<b>7,01</b>	<b>7,55</b>	<b>6,52</b>

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

En la tabla 4 se muestra los tiempos que se tomó para un lote de 7 latas (98 kg) de café cerezo en el cual se observa que la diferencia de estos es solo por segundos sin embargo en grandes cantidades esto se vuelve más significativo. El motivo por el que en la primera lata el tiempo es mayor es porque aquí se considera el traslado y colocación del saco en la que se almacena el café despulpado. Y otro de los tiempos mayores es la última lata que llena al saco ya que al ser un trabajo fuerte físicamente, conforme va pasando el tiempo los trabajadores van sintiendo un cansancio el cual afecta en su productividad. Por lo tanto, con los tiempos obtenidos se calculó el tiempo promedio que tardan en despulpar una lata de café cerezo (6,52 minutos/lata) y en base a esto realizar los cálculos respectivos para posteriores cálculos, como es la cantidad requerida para obtener un quintal de café pergamino (su producto final). Según los productores de café para obtener un quintal de café se requiere 19 latas aproximadamente, es decir, 266 kg de café cerezo.

En la figura 15 se muestra el DAP el cual se tiene como partida el café cerezo almacenado que llega de los campos de cultivo y por otro lado los sacos que se requiere para depositar el café despulpado. El café almacenado se llena en una lata y luego el trabajador lo levanta para llenarlo en la tolva de la máquina despulpadora y se deja la lata vacía para la siguiente, luego se procede colocar el saco en la despulpadora para el café despulpado y por el otro lado salen los residuos, luego prosigue la actividad más importante, el despulpado. Al terminar de despulpar la lata de café se vuelve a llenar hasta que el saco alcance su capacidad de depósito luego volver a poner otro saco y se vuelve a hacer lo mismo respectivamente. Es importante mencionar que los promedios obtenidos en la tabla 4 se multiplicaron por las 19 latas que se requiere para obtener un quintal de café pergamino (producto final).



**Figura 15 - DAP del proceso de despulpado en el beneficiado del café**

En la tabla 5 se resume todas las actividades y el tiempo total que se emplea para despulpar el café necesario para un quintal, es decir, las 19 latas de café cerezo que se necesita para obtener un quintal como producto final.

**Tabla 5 - Resumen de los tiempos presentes en el DAP**

<b>RESUMEN</b>			
<b>ACTIVIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>TIEMPO</b>	<b>Distancia</b>
Operación	5	121,27 min	
Transporte	2	2,52 min	8 m
Almacén	2		
<b>TOTAL</b>		<b>123,79 min</b>	<b>8 m</b>

### 3.1.4. Indicadores

#### 3.1.4.1. Indicador de tiempo base

Generalmente en la asociación se trabaja 8 horas al día con un descanso de 45 minutos en el almuerzo, con esto se determina el tiempo base:

$$\text{Tiempo base (Tb)} = \frac{7,25 \frac{\text{horas}}{\text{turno}} \times 1 \frac{\text{turno}}{\text{día}}}{\frac{1 \text{ hora}}{60 \text{ min}}} = 435 \text{ min/día}$$

#### 3.1.4.2. Producción

En este indicador calculamos la cantidad de productos que se realiza en un determinado periodo de tiempo, en este caso se tomó el tiempo base de 7,25 horas lo que en minutos es 435.

Al tiempo base se le divide entre el tiempo que se emplea en el despulpado de un quintal de café (se coge este tiempo por ser el cuello de botella). Este tiempo para despulpar un quintal se encuentra calculado en la Figura 15 (DAP), siendo el valor de 96,36 min/quintal. Por lo tanto, tenemos una producción de 4,5 quintales por cada día o turno de trabajo.

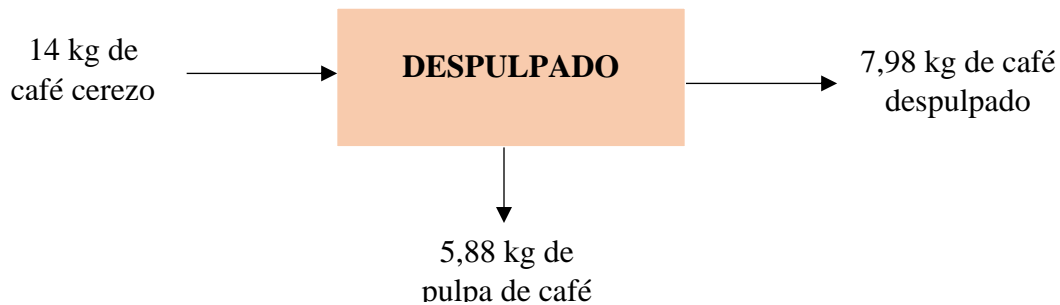
$$\text{Producción} = \frac{\text{tiempo base (tb)}}{\text{ciclo (c)}} \quad (5)$$

$$\text{Producción} = \frac{435 \text{ min/día}}{96,36 \text{ min/quintal}} = 4,51 \text{ quintales/día}$$

### 3.1.4.3. Eficiencia física

De todo el café cerezo que entra como materia prima al proceso de despulpado resulta solo un 57% como producto principal que continuará en el proceso, el otro 43% se convierten en residuos. A continuación se calcula la eficiencia física en el proceso de despulpado del café:

Como ya se mencionó anteriormente, en la descripción del beneficiado del café, su unidad de medida en el despulpado es la lata, y 1 lata = 14 kg de café cerezo; sin embargo, para obtener un quintal de café (pergamino) como producto final se necesita despulpar aproximadamente 19 latas lo que resultaría un valor de 266 kg de café cerezo, por lo que los valores de cada lata se multiplican por las 19 latas.



**Nota:** el 0,14 kg faltante, son residuos que se pierde en el proceso

$$\text{Eficiencia física}_{\text{Despulpado}} = \frac{\text{Producción}}{\text{Insumos}} \quad (6)$$

$$\text{Eficiencia física}_{\text{Despulpado}} = \frac{151,62 \text{ kg/quintal}}{266 \text{ kg/quintal}} = 57\%$$

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

### 3.1.4.4. Productividad de mano de obra

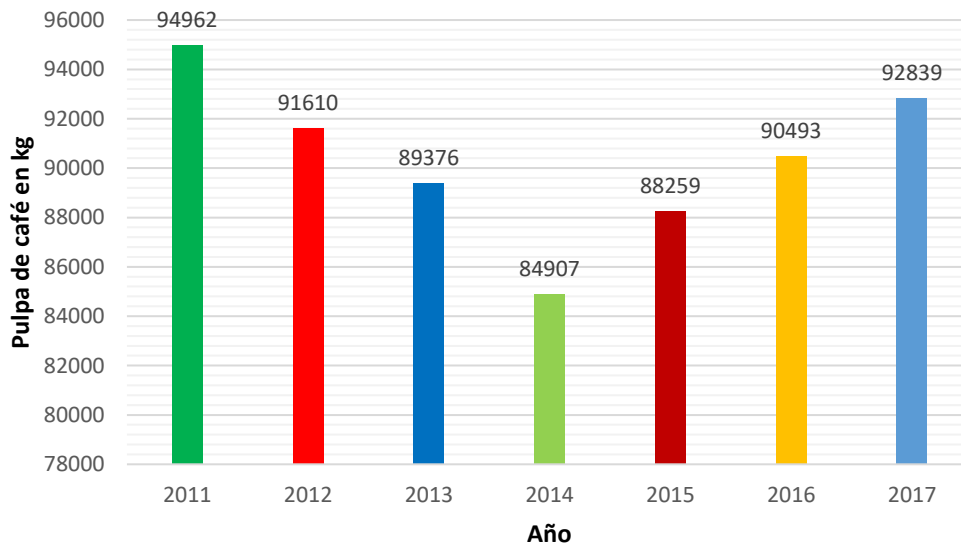
Como ya se calculó anteriormente en la producción se obtuvo 4,51 quintales al día, para saber la cantidad por hora se divide entre las 7,25 horas de trabajo el cual da como resultado 0,62 quintales por cada hora.

$$\text{Productividad de M. O} = \frac{\text{Producción}}{\text{Recurso Humano}} \quad (7)$$

$$\text{Productividad de M. O}_{\text{Despulpado}} = \frac{0,622 \frac{\text{quintales}}{\text{hora}}}{1 \text{ trabajador}} = 0,62 \text{ quintales/trabajador x hora}$$

### 3.1.5. Pulpa de café

Como ya se mencionó anteriormente, la pulpa de café en la Asociación Sierra Norte Minas representa el 42 % de la cantidad total de café cerezo que entra al proceso de despulpado. Por lo tanto, la cantidad de pulpa de café va a ir variando de acuerdo a la cantidad de café cerezo que se disponga en un determinado tiempo. En la figura 16 se puede observar la cantidad de pulpa de café que se ha ido generando en la asociación en los últimos años, en el 2017 fue aproximadamente 92 839 kg.



**Figura 16 - Producción de pulpa de café en los últimos años de la Asociación Sierra Norte Minas**

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

En una encuesta realizada a los 24 productores de la asociación, se determinó que 21 de ellos no aprovecha la pulpa obtenida en el despulpado, dejando la pulpa en el lugar en el que se lleva el proceso de despulpado (anexo 12). Los otros 3 tampoco lo aprovechan pero optan por juntarlo en algún depósito y botarlo a los campos de cultivo sin algún tratamiento previo, esto hacen con el objetivo de evitar molestias en casa. En todos los casos, el despulpado se realiza en su casa.

### **3.1.5.1. Problemas ambientales que causa la pulpa de café**

La acumulación de pulpa de café constituye un foco generador de insectos y malos olores a nivel local [24]. También, según Pérez *et. al* [25] la pulpa de café que es vertida al agua genera un aumento considerable de la demanda bioquímica de oxígeno, aumento de la carga de sólidos totales, incremento en la temperatura del agua, generación de olores y pérdida de la calidad visual. En la figura 13b se observa la pulpa de café en descomposición lo cual contiene olores y gran cantidad de insectos que incluso van a parar en los alimentos de casa, siendo así un problema difícil de solucionar en la Asociación Sierra Norte Minas.

Esta pulpa de café es arrojada y acumulada en la tierras agrícolas o lugares cercanos al beneficiado sin ningún tratamiento previo (Figura 17); la cual ocasiona que algunos impactos negativos al ambiente tales como; la deforestación que a causa de la acumulación de la pulpa de café, ocasiona que las plantas mueran tal como se observa en la figura 18, que después de medio año de haber dejado la pulpa de café en ese lugar desaparecieron algunas plantas de café y otra frutal, actualmente eso desapareció y es a causa de la acumulación de pulpa de café que se realizó en esos momentos.



**Figura 17 - Pulpa de café en descomposición**

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

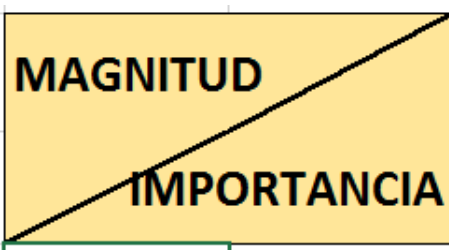


**Figura 18 - Área después de medio año de acumulación de pulpa de café**  
Fuente: Asociación Sierra Norte – Minas

### **3.1.5.2. Evaluación de Impacto Ambiental de las actividades del proceso de beneficiado del café**

Para realizar la evaluación de impacto ambiental y ver de manera cualitativa cual es la actividad que tiene más impacto en el lugar de estudio, se desarrolló la Matriz de Leopold.

La matriz dispone de filas y columnas, en la primera se coloca los factores ambientales que pueden ser afectados y como columnas las acciones que vayan a tener lugar y que serán causa de los posibles impactos. En cada cuadro de interacción se repartirá en diagonal, primero introduciendo el signo + (más) o – (menos), según el impacto existente que puede ser positivo o negativo, luego colocando en la parte superior la Magnitud M (extensión o valor del impacto) en una escala del 1 al 10 (siendo el valor 1 una alteración mínima y el 10 a la máxima). Finalmente en la parte inferior del cuadro se hace constar la importancia I, también conocida como intensidad o grado de incidencia, que también se da valores en escala del 1 al 10 (Figura 19) [26], tales valores se detalla en la tabla 6. En la figura 19 se permite entender mejor la forma o la ubicación en que van los valores en la matriz de Leopold. Cabe indicar que las estimaciones realizadas son de un punto de vista subjetivo el cual se desarrolló en visitas al lugar y se consultó tanto a los productores de café como a otras personas que habitan en el lugar.



**Figura 19 - Parámetros utilizados en la evaluación de la Matriz de Leopold**

**Tabla 6 - Valores de calificación Magnitud e Importancia para la Matriz de Leopold**

<b>MAGNITUD</b>		<b>IMPORTANCIA</b>	
(En función a la extensión del impacto ambiental producido).		(En función a las consecuencias del impacto “significancia o intensidad”, sobre el componente ambiental y a su importancia sobre el medio).	
<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>	<b>Descripción</b>	<b>Valor</b>
Puntual	1 – 2	Muy baja	1 – 2
Parcial	3 – 4	Baja	3 – 4
Medio	5 – 6	Moderada	5 – 6
Extenso	7 – 8	Alta	7 – 8
Total	9 – 10	Muy alta	9 – 10

En la figura 20 se presenta la matriz de Leopold aplicada para el proceso de beneficiado húmedo de café en la Asociación Sierra Norte Minas.

**a. Descripción del contenido de la Matriz de Leopold**

A continuación se detalla cómo se ejecutó la valoración de los factores ambientales impactados según las actividades realizadas para el beneficiado húmedo del café en la Asociación Sierra Norte Minas. Los valores aplicados en la matriz fueron estimados con visitas al lugar, a través de la encuesta aplicada a los productores, y consultando directamente tanto a los productores de café como a las demás familias que viven en el lugar y sus alrededores.

**- Sistema medio físico**

En el **componente ambiental de aire**, se evaluaron cuatro factores, *nivel de olor*, *generación de vapores*, *nivel de ruido*, y *material particulado*. Como se puede observar en la Matriz, el impacto en cuanto al aire resultó ser negativo con un valor de – 100, siendo el nivel de ruido el que más

impacto genera, y esto sin duda se debe a la actividad realizada en el proceso del despulpado ya que el ruido que genera la máquina despulpadora es de un nivel moderado, por ello tiene una calificación de -5/6 generando un impacto total negativo de - 36.

En el **componente ambiental del suelo**, se evaluaron tres factores, *residuos orgánicos, lixiviados, y calidad del suelo*. El resultado de la aplicación de la Matriz de Leopold da como valor al suelo de - 170, siendo este un impacto negativo y el componente con mayor impacto con respecto a los otros. En este caso el factor con mayor impacto negativo es el de residuos orgánicos que es un problema sin solución aún por parte de la ASNM, y el proceso que genera el 99% de todos estos residuos orgánicos es el despulpado, sin embargo, la actividad de disposición de estos residuos no es de lo más adecuado por ello se le asignó un valor de - 6/8 por la extensión moderada e intensidad alta que tienen.

En el **componente ambiental del agua**, se evaluaron tres factores, *turbidez del agua, aguas residuales, y el consumo de agua*. En la Matriz de Leopold se observa como valor al agua de - 127, siendo este también un impacto negativo. Para este componente el factor con mayor impacto negativo es el de aguas residuales con un valor de - 46 y esto se debe principalmente al proceso de lavado que requiere de una considerable cantidad de agua, si bien es cierto la existencia de este recurso en el lugar es buena, sin embargo no todos se benefician por igual.

Factores ambientales Acciones ambientales		IMPACTOS PERMANENTES									Sub-Total	Sub-total	TOTAL	Impacto por componente	Impacto total
		OPERACIÓN					ACTIVIDADES								
		Recepción del café cerezo	Despulpado	Fermentación	Lavado	Secado	Empaquetado	Disposición de residuos sólidos	Disposición de residuos líquidos	Impacto(+)	Impacto(-)	Total aritmético			
Medio Físico	Aire	Nivel de olor	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-3	-2		19	-19	-100	-520
		Generación de vapores			-1				-5			22	-22		
		Nivel de Ruido	-1	-5		-1	-1	-1				36	-36		
		Material particulado	-4			-2	-2	-3				23	-23		
	Suelo	Residuos orgánicos	-2	-4	-2				-6			88	-88	-170	
		Lixiviados		-3	-3	-4			-2	-3		53	-53		
		Calidad del suelo							-3	-2		29	-29		
	Agua	Turbidez								-8		40	-40	-127	
		Agua residual				-2	-2		-1	-5		46	-46		
consumo de agua					-5	-5			-4		41	-41			
Medio biológico	flora y fauna	Insectos	-2						-4	-2		42	-42	-104	
		Migraciones							-4	-3		32	-32		
		Arbustos							-2	-2		30	-30		
Medio Socio Económico	poblacion economia	Seguridad		-1					-1	-2		24	-24	-19	
		salud		-2					-2	-2		28	-28		
		Nivel de Empleo	1	4		2	2	1				60	33		
Promedios Aritméticos			-27	-91	-25	-41	-14	-16	-187	-178		-579			

Figura 20 - Evaluación del impacto ambiental a través de la Matriz de Leopold en la Asociación Sierra Norte Minas

- Sistema medio biológico

En el componente ambiental de flora y fauna, se evaluaron tres factores, *insectos*, *migración de insectos*, y *arbustos*. La Matriz de Leopold muestra como valor de impacto a lo que es flora y fauna

de – 104, siendo este un impacto negativo al medio. Para este componente el factor con mayor impacto negativo es el de insectos con una valor de – 42 y esto se debe particularmente a la presencia de una gran cantidad de insectos tanto en la materia prima pero con mayor cantidad en los residuos generados, tanto líquidos como sólidos. Conforme van pasando los días, la presencia de estos insectos aumenta; esto afecta mayormente a la salud de las personas por la picazón en la que los niños son los más vulnerables. El otro de los factores que se relaciona con lo anterior son las migraciones, con la diferencia que en este factor se incluye de manera general a otros seres vivos.

En cuanto a los arbustos, si bien es cierto la magnitud de este es puntual, su importancia o intensidad en el medio si es alta debido a que la excesiva acumulación de residuos hace que las plantas pequeñas que están en el lugar mueran.

#### - **Sistema ambiental socio-económico**

En el sistema socio-económico tenemos al **componente de población**, en la que se evaluaron también tres factores, *seguridad, salud, y el nivel de empleo*. En este caso según los resultados arrojados por la Matriz de Leopold, el factor con valor más alto es el de nivel de empleo (33) siendo este un impacto positivo ya que contribuye al desarrollo económico de la comunidad, en el cultivo de café la actividad que mayor empleo genera es la cosecha; en el de beneficiado del café, sujeto de estudio, el proceso que más empleo genera es el despulpado y tiene una calificación 4/3 ya que en ocasiones vienen trabajadores de una comunidad diferente (magnitud parcial), y se consideró una importancia baja porque como ya se mencionó anteriormente en la asociación la actividad que más empleo genera es la cosecha, y además que en el despulpado se requiere personas con buenas condiciones físicas.

Para el caso del factor seguridad se obtuvo un valor de – 24, es decir un impacto negativo, al tener una mala disposición de residuos las personas corren el riesgo de sufrir algún accidente, por ejemplo, el café contiene mieles que queda en los residuos y esto ocasiona que al pasar una persona caminando sobre estos residuos corra un alto riesgo de una caída. Y finalmente para el factor salud, resultó un impacto negativo con valor – 28, siendo la disposición de residuos sólidos que por su descomposición pueden generar alguna enfermedad, principalmente por la presencia de insectos indeseados que terminan en el cuerpo de las personas, incluso en sus alimentos.

## **3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PULPA DE CAFÉ DE TIPO ARÁBICA**

### **3.2.1. Selección de la muestra**

Para seleccionar la muestra de pulpa de café se eligió a tres productores que en ese momento estaban realizando el proceso de despulpado. Se recogió 2 kg aproximadamente de cada productor, éstas se mezclaron, de forma manual. Finalmente se tomó 1 kg de muestra mezclada (Figura 21).

Una vez separado la muestra se almacenó en un taper pequeño y transparente de plástico, y fue enviado al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Fundación para el Desarrollo Agrario de la Universidad Nacional Agraria la Molina, en la ciudad de Lima. Los parámetros que se evaluaron fueron el pH, porcentaje de humedad, relación C/N y porcentaje de cenizas.



**Figura 21 - Selección de muestra**

### **3.2.2. Resultados de análisis de características de la pulpa de café**

Los resultados que se obtuvieron del laboratorio se presentan en la tabla 6. Estos parámetros son necesarios para realizar la propuesta con respecto a la instalación de un sistema de producción de biogás a partir de la pulpa de café. En el anexo 13 se presenta el informe emitido por el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina en la que se llevó a cabo el análisis de los componentes presentados en la tabla 7.

**Tabla 7 - Características de la pulpa de café**

<b>pH</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Relación C/N</b>	<b>Cenizas (%)</b>	<b>Materia volátil (%)*</b>
4,01	82,52	21,52	13,22	4,26

Fuente: Laboratorio de suelos, UNALM (anexo 20)

\*El porcentaje de materia volátil se calculó en base a la humedad y cenizas.

### **3.2.3. Discusiones**

#### **3.2.3.1. pH**

Rodríguez [9] citado por Romero [3], descubrió que en un análisis del pH de la pulpa de café tuvo como resultado 4,40, por lo que se demuestra que se encuentra cerca del valor obtenido en esta investigación, el cual dio un valor de 4,01 (tabla 7).

En el caso del pH evaluado para esta investigación, el cual es 4,01 y fue determinado antes de empezar todo el proceso, es un valor relativamente inferior al óptimo requerido ya dentro del proceso. Sin embargo, durante el proceso de producción de biogás, el pH aumenta y permanece variable entre los valores de 6,79 a 8,19, lo que garantiza una buena producción de metano, componente principal del biogás [3].

#### **3.2.3.2. Porcentaje de humedad**

Como se puede observar en la tabla 7, la pulpa de café tiene un porcentaje de humedad 82,5%, un valor ligeramente superior al presentado por Rodriguez [9] el cual da un porcentaje de humedad de la pulpa de café del 74,83% mostrado en la tabla 1.

#### **3.2.3.3. Relación Carbono/Nitrógeno**

La relación C/N óptima en la materia prima que va a entrar en el proceso de biodigestión se considera en un rango de 30:1 hasta 20:1 [13]. En la pulpa de café se obtuvo una relación C/N de 21,52:1 lo que significa que se encuentra dentro del rango óptimo y es adecuada para el desarrollo de la flora bacteriana en el proceso de producción de biogás.

#### **3.2.3.4. Porcentaje de cenizas**

El porcentaje de cenizas de la pulpa de café resultó un valor de 13,22%, superior al valor obtenido en otras investigaciones, en el que se tiene un 6,6% [9]. Con el porcentaje de cenizas se permite

calcular la cantidad de lodos o bioabono que queda al final de la fermentación anaerobia de los residuos.

### **3.2.3.5. Porcentaje de materia volátil**

Para obtener el porcentaje de materia volátil de la pulpa de en este caso se utiliza los porcentajes de humedad y cenizas. Primero con el porcentaje de humedad se calcula la cantidad de sólidos totales, y luego a esto se le resta las cenizas quedando así el porcentaje de materias volátiles o también conocido como materia orgánica seca; el cálculo se realiza a continuación:

$$\text{Sólidos totales} = \% \text{total}(100\%) - \% \text{ de humedad} \quad (8)$$

$$\text{Sólidos totales} = 100\% - 82,52\% = 17,48\% \text{ de sólidos totales}$$

$$\text{Materias volátiles} = \text{Sólidos totales} - \text{cenizas} \quad (9)$$

$$\text{Materias volátiles} = 17,48\% - 13,22\% = 4,26\%$$

### **3.3. DISEÑO DEL SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE PULPA DE CAFÉ**

#### **3.3.1. Localización**

En la encuesta aplicada a los productores se les preguntó sobre el lugar de su preferencia para una posible instalación de un sistema de producción de biogás usando la pulpa de café para generar energía eléctrica, en el cual esta energía sea utilizado para llevar a cabo el proceso de despulpado, se mencionaron tres lugares, Minas, Santa Rosa de Minas, y El Tomate. El principal criterio que tuvieron en cuenta para preferir estos lugares es la cercanía que ellos tienen a estos.

Los resultados (ver anexo 17) nos muestra que el 54,2% prefiere que sea en Minas, el 41,7% en Santa Rosa de Minas, y tan sólo el 4,2% prefiere El Tomate. Por lo tanto, para elegir la mejor opción con respecto a la localización de una posible instalación de un sistema de producción de biogás se utilizó el método de factores ponderados. En primer lugar se tomó en cuenta criterios importantes que influyen en el sistema de producción de biogás, luego a través de una matriz de enfrentamiento se determinó el peso de cada criterio, para finalmente elegir el lugar más adecuado, la calificación del puntaje que se aplica para la selección del lugar se presenta en la tabla 8:

**Tabla 8 - Calificación del puntaje aplicado a los criterios para la selección del lugar**

<b>Calificación</b>	<b>Valor</b>
Deficiente	2
Regular	4
Bueno	6
Muy bueno	8
Excelente	10

### 3.3.1.1. Criterios o factores de evaluación

#### a. Cantidad de pulpa de café

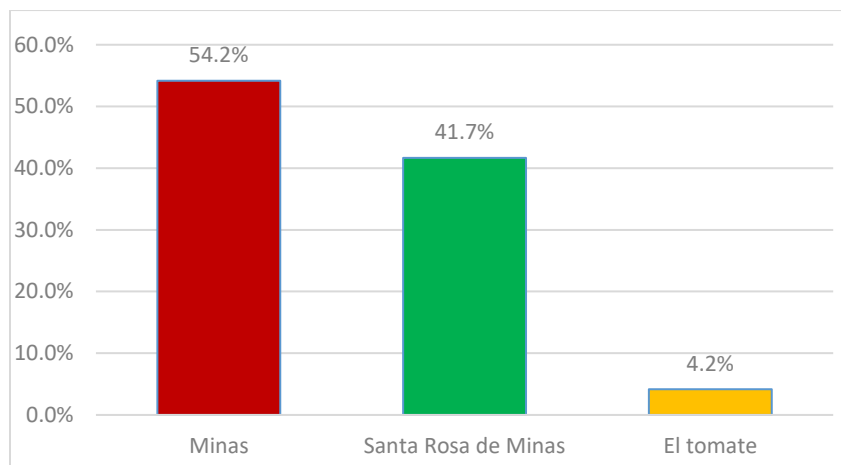
La pulpa de café es la materia prima principal y es indispensable contar con este elemento y con la cantidad suficiente, por lo que el peso que se calculó para este criterio en la matriz de enfrentamiento es del 20% (mayor de todos). Cabe indicar que según la encuesta aplicada, en el 2017 la mayor cantidad de producción de café se dio en Minas con 531 quintales del cual representa a un poco más de 59 mil kg de pulpa de café obtenida durante la campaña.

**Tabla 9 - Cantidad de pulpa de café producido (2017)**

Lugar	Cantidad de café		
	Pergamino (qq)	Cerezo (kg)	Pulpa de café (kg)
Minas	531	141 246	59 323,32
Sta. Rosa de Minas	284	75 544	31 728,48
El Tomate	16	4 256	1787.52
	<b>831</b>	<b>221 046</b>	<b>92 839,32</b>

#### b. Proximidad a productores

La proximidad de los productores al lugar en el que se instale un sistema de producción de biogás es un factor importante por la distancia y complejidad que puede haber en trasladar el producto desde la chacra de café hacia dicho lugar. Por tal motivo en la matriz de enfrentamiento se calculó que debe tener un peso de 17% con respecto a los otros criterios que se están evaluando. En la encuesta que se realizó se consultó sobre el lugar que preferirían de una posible instalación de sistema de producción de biogás, y su principal criterio para elegir el lugar de su preferencia fue la cercanía a éste. Como se muestra en la figura 22 el 54,2% prefiere a Minas por lo que para la evaluación se le dio un puntaje de 7, 6 para Sta. Rosa de Minas y 2 para el tomate ya que el porcentaje es muy bajo.



**Figura 22 - Lugar de preferencia de una posible instalación de un sistema de producción de biogás**

**c. Abastecimiento de agua**

Tanto para el proceso de beneficiado húmedo del café como para un sistema de producción de biogás el agua es indispensable, por tal motivo también resulta con un peso importante para la selección del lugar. Los tres lugares propuestos cuentan con agua, sin embargo, no todas tienen el mismo abastecimiento; en el caso de Minas no tiene problemas con el agua ya que en este lugar existe un manantial capaz de abastecer todo lo necesario, en Sta. Rosa de Minas también tiene agua con la diferencia que es en menor cantidad y a veces es limitado, finalmente el Tomate también cuenta con una gran cantidad de agua pero ésta suele variar según las estaciones del año.

**d. Facilidad de transporte**

Para este punto, se consideró la complejidad de los caminos que hay en el lugar, en la que Minas tiene una cierta ventaja por lo que es más fácil transitar, además, la mayor parte de productores se encuentra más cerca a este lugar. Cabe indicar que el principal medio de transporte que los productores utilizan para llevar el café cerezo desde la chacra hasta el lugar del despulpado, son los burros, caballos, mulas, y los peones mismos.

**e. Mano de obra disponible**

Por ser Minas la comunidad principal es donde mayormente se encuentran concentradas las familias, es decir hay más población; por tal razón es donde será más fácil encontrar mano de obra. Lo que cambia un poco en los otros lugares debido a la menor densidad poblacional que existe.

#### **f. Espacio disponible**

Por lo general en el campo siempre existe algún lugar disponible en la que se pueda realizar otra actividad diferente a la de cultivar productos, ya sea por ejemplo un lugar infértil, campo abandonado, etc.; y teniendo en cuenta que para la instalación de un sistema de producción de biogás no es esencial que el lugar cumpla requisitos especiales, solo se necesita espacio. Al comparar los tres lugares propuestos, en Minas y Sta. Rosa de Minas cuenta con bastante espacios libres por lo que se consideró un puntaje de 9, para el caso del Tomate se le considera menos puntaje (6) porque el lugar es desigual, es decir en el caso se requiera nivelar el terreno será más complicado con respecto a los otros lugares, lo que dificultaría de alguna manera.

#### **g. Temperatura ambiente**

Para llevar a cabo un proceso anaeróbico de la pulpa de café, y de cualquier otro residuo, la temperatura es una de las variables más importantes que se debe tener en cuenta ya que es el que definirá el tiempo en que se obtendrá el biogás desde el inicio del proceso. Minas y Sta. Rosa de Minas se encuentra a una misma temperatura siempre (normalmente a 27 °C), y el Tomate según algunos productores a veces suele hacer un poco más de calor en comparación con los otros lugares.

#### **h. Cercanía a carretera principal**

Este criterio es el que resultó con menor peso por lo que no es indispensable para lo que se busca desarrollar, sin embargo presenta una ligera ventaja por el traslado de algún material, personal otro agente externo al lugar. El Tomate es el que está mejor ubicado en cuanto a este criterio, luego Minas que prácticamente está en las mismas condiciones, y finalmente Sta. Rosa de Minas que se encuentra a una pequeña distancia de la carretera principal, por lo que se le considera un puntaje de 9, 8 y 6 respectivamente.

### 3.3.1.2. Matriz de enfrentamiento

Mediante esta matriz de enfrentamiento, se compara cada factor o criterio que se está teniendo en cuenta entre sí mismas para poder calcular su respectivo peso y de esta manera tener mayor confiabilidad al seleccionar el lugar más adecuado para una posible instalación de un sistema de producción de biogás.

**Tabla 10 - Matriz de enfrentamiento de factores para elección del lugar**

	Proximidad a productores	Facilidad de transporte	Mano de obra	Cantidad de pulpa de café	Abastecimiento de agua	Cercanía a carretera principal	Espacio disponible	T° ambiente	Total	%
Proximidad a productores		1	1	0	1	1	1	1	<b>6</b>	<b>17%</b>
Facilidad de transporte	0		1	0	0	1	1	1	<b>4</b>	<b>11%</b>
Mano de obra	0	1		0	0	1	1	1	<b>4</b>	<b>11%</b>
Cantidad de pulpa de café	1	1	1		1	1	1	1	<b>7</b>	<b>20%</b>
Abastecimiento de agua	1	1	1	0		1	1	1	<b>6</b>	<b>17%</b>
Cercanía a carretera principal	0	0	1	0	0		0	0	<b>1</b>	<b>3%</b>
Espacio disponible	1	0	1	0	0	1		1	<b>4</b>	<b>11%</b>
Temperatura ambiente	0	0	1	0	0	1	1		<b>3</b>	<b>9%</b>

Para dar valor en la ponderación de factores presentes en la tabla 10 se tuvo presente la influencia del factor sobre las operaciones del sistema, su importancia estratégica, y la proyección de su relevancia en el tiempo. En la matriz se evaluó la importancia de cada factor con respecto al otro en la que:

Se asignó el valor de 1 al factor más importante que el factor con el que se está comparando. Y el valor de 0 al factor menos importante que el factor con el que se está comparando. En el caso de que ambos factores tengan un mismo nivel de importancia, a ambos factores se les asigna el valor de 1.

### 3.3.1.3. Selección del lugar

Una vez calculado las ponderaciones de los factores en la matriz de enfrentamiento, se procedió a evaluar las tres alternativas que se tenían previstos: Santa Rosa de Minas, Minas y el Tomate, son las denominaciones de cada lugar que están dentro de la jurisdicción del Centro Poblado de Minas lugar en el que se encuentra ubicado la Asociación Sierra Norte Minas.

De acuerdo a las calificaciones mostradas en la tabla 8 se procedió a asignar los respectivos puntajes a los tres lugares, en la que “Minas” resultó el lugar con el puntaje más alto (8,14) como se muestra en la tabla 11.

**Tabla 11 - Selección del lugar más adecuado**

Factores	Ponderación	Alternativas					
		Sta. Rosa de Minas		Minas		Tomate	
Proximidad a productores	17%	6	1,03	7	1,20	2	0,34
Facilidad de transporte	11%	6	0,69	8	0,91	2	0,23
Mano de obra	11%	7	0,80	9	1,03	6	0,69
Cantidad de pulpa de café	20%	7	1,40	8	1,60	2	0,40
Abastecimiento de agua	17%	6	1,03	9	1,54	8	1,37
Cercanía a carretera principal	3%	4	0,11	8	0,23	9	0,26
Espacio disponible	11%	9	1,03	9	1,03	6	0,69
Temperatura ambiente	9%	7	0,60	7	0,60	8	0,69
	100%		<b>6,69</b>		<b>8,14</b>		<b>4,66</b>

### 3.3.2. Proceso de producción de biogás y generación de electricidad

Todo el proceso inicia desde el despulpado de café cerezo, luego con el aprovechamiento del residuo principal del despulpado para convertirlo a biogás, y finalmente éste biogás convertirlo a energía eléctrica para el funcionamiento de un motor para la máquina despulpadora.

En la Figura 23 se muestra un panorama general desde el inicio del proceso que es en el despulpado o generación de la pulpa de café, y esta pulpa es fermentada en biodigestores en el cual se produce biogás, luego a este biogás se le quita las impurezas principalmente el sulfuro ( $H_2S$ ) para posteriormente ser almacenado en un gasómetro, enseguida este biogás es suministrado al generador para producir electricidad y este ser utilizado nuevamente en el proceso de despulpado, específicamente en el motor encargado de hacer funcionar la máquina despulpadora.



Figura 23 - Proceso de producción y aprovechamiento del biogás

#### 3.3.2.1. Despulpado

En el despulpado es donde inicia el ciclo de producción de biogás o en efecto la electricidad, en la tabla 16 se muestra las cantidades de residuos sólidos que se ha venido generando de manera mensual en este proceso. Las cosechas de café en la asociación inician en abril, sin embargo, con los residuos generados este mes se obtendrá biogás

recién en el mes de mayo, es decir aproximadamente después de un mes de haber empezado a fermentar los residuos. En el caso de la máquina despulpadora una de sus principales características es que puede funcionar tanto de manera manual como automático (con motor) por lo que al no tener biogás (por ende energía eléctrica) el primer mes, los productores se verán obligados a realizar el proceso de manera manual, que al ser una producción baja en este mes se realizaría sin inconvenientes. Por lo tanto, al contar ya con energía eléctrica a partir del biogás a la maquina despulpadora se le sumará un motor monofásico de 1 HP que se adapta de manera sencilla, a la polea de la máquina despulpadora se le coloca una correa de distribución que conecta a la máquina con el motor.

En la Figura 24 se observa como el motor a través de un cinturón es conectado a la polea de la máquina despulpadora y de esta manera tener un eficiencia de mano de obra mucho más óptima que al ser realizado de manera manual.



**Figura 24 - Motor eléctrico insertado a la máquina despulpadora**  
*Fuente: Motores y Maquinarias de El salvador*

### 3.3.2.2. Almacenamiento de la pulpa

El depósito de la pulpa de café se encontrará junto el proceso de despulpado, aquí los residuos generados van cayendo por gravedad dentro del depósito de la pulpa de café. La capacidad máxima del depósito fue calculado en base a la generación máxima de residuos que son en los días del mes de julio.

Generación máxima por día = 1 083 kg

Densidad de la pulpa de café = 0,4425 kg/l

$$\text{Capacidad del depósito} = (1\ 083\ \text{kg}) * \left(\frac{1\ \text{l}}{0,4425\ \text{kg}}\right) * \left(\frac{1\ \text{m}^3}{1\ 000\ \text{l}}\right) = 2,45\ \text{m}^3$$

Por lo tanto, el volumen que ocupará el almacén de pulpa de café es de 2,45 metros cúbicos (1,5m x 1,1m x 1,5m). Este depósito será conformado con tablas de madera en tres lados con el fin de que los residuos no se esparzan por el lugar.

### **3.3.2.3. Fermentación**

En la fermentación anaerobia la pulpa de café mezclado con agua se descompondrá por un periodo aproximado de 38 días para tener como producto el biogás, más adelante se señala como resulta estos 38 días, además, se calcula el tamaño del biodigestor así como la cantidad necesaria. El biogás que se obtiene de la fermentación sale con ciertos gases indeseados para lo que se necesita un limpiador del biogás o el desulfurizador que se describe en el siguiente punto.

### **3.3.2.4. Desulfuración del biogás**

Es un limpiador del biogás que se encarga de sacar los gases indeseados para tener un gas más puro. Estos se utilizan de acuerdo a la complejidad del sistema de producción de biogás, para este estudio se requiere un simple por la magnitud del proyecto, este se muestra en la Figura 25.



**Figura 25 - Desulfurizador de biogás**

### **3.3.2.5. Almacenamiento del biogás**

Una vez limpio el biogás pasa a su almacenamiento que consiste en depósitos fabricado en membrana de PVC de 1 mm de grosor. Ese biogás almacenado será usado en la generación de energía eléctrica de acuerdo al consumo necesario para el proceso de despulpado.



**Figura 26 - Bolsa de almacenamiento de biogás**

Fuente: Google images

### **3.3.2.6. Generador eléctrico**

Existen varios tipos y modelos de generadores eléctricos que permiten usar el biogás como fuente para la obtención de electricidad. Este biogás normalmente primero se le hace una purificación para que luego este ingrese directo a un generador eléctrico exclusivamente a producir electricidad a partir del gas. Por ejemplo, uno de los generadores que permite llevar a cabo esta actividad son los grupos electrógenos. El grupo electrógeno es un generador de electricidad que permite la conversión de biogás a energía eléctrica, este mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna.

En la tabla 12 se comparan tres generadores que producen electricidad con gas y con diferentes especificaciones técnicas. Con esta comparación se busca analizar cuál es el más conveniente para las Asociación Sierra Norte Minas.

Así como los mostrados en la tabla 12, existen una serie de generadores y grupos electrógenos dependiendo a la capacidad que se necesita. Después de analizar y comparar los tres generadores se decidió elegir el modelo Generac Guardian Series™ 5518 por los siguientes motivos: existe en el mercado local, trabajo con una frecuencia de 60 Hz el cual es lo normal en Perú, y tiene un precio accesible y conocido.

Además, en un proyecto realizado en Honduras de generación de electricidad a partir del biogás producido por desechos de una asociación de productores de café se utiliza un generador Generac que funciona con biogás (Figura 27) [27]. Por lo tanto, por la existencia de un antecedente en el que se usa un generador Generac refuerza la decisión de elegir este equipo para la Asociación Sierra Norte Minas.

**Tabla 12 - Comparación de generadores eléctricos**

<b>Marca</b>	<b>Generac</b>	<b>GAS GG8B&amp;S (Vielco)</b>	<b>Generac</b>
<b>Modelo</b>	Generac Guardian Series™ 5518	Generador a GAS GG8B&S	POWERPACT DE 5.6 KVA
<b>Combustible</b>	Gas Natural	Gas Natural	Gas Natural
<b>Garantía</b>	3 años	2 años	1 año
<b>Disponibilidad en el país</b>	Sí	Sí	Sí
<b>Frecuencia</b>	60 Hz	50 Hz	50 Hz
<b>Costo</b>	S/. 9 340	-	-
<b>Capacidad de potencia continua máxima nominal (NG)</b>	7 kW	6,5 kW	5,6 kW

Fuente: Sitios web de: Electric Generators Direct, Edipesa y Vielco.



**Figura 27 - Generac Guardian Series™ 5518 - 8 kW Home Standby Generator**

Fuente: Electric Generators Direct, Edipesa.

### **3.3.3. Selección del biodigestor**

A continuación en la tabla 13 se realiza la comparación de los modelos de biodigestores con los diferentes factores importantes que influye en la instalación de un sistema de producción de biogás.

**Tabla 13 - Comparación de los tipos de biodigestores**

	<b>Tipo Chino</b>	<b>Tipo Hindú</b>	<b>Tipo Taiwán o tubular</b>
<b>Costos de instalación</b>	Alto costo	Alto costo	Prefabricación estandarizada, se obtiene a bajo costo
<b>Tecnología disponible</b>	Antigua	Antigua	Actual
<b>Facilidad de mantenimiento</b>	Baja. No hay partes móviles ni oxidables	Altos requerimientos de mantención de la cúpula (remoción de óxido y pintado regular)	Baja, es fácil de limpiar, mantener y vaciar
<b>Vida útil</b>	Hasta 20 años	Hasta 15 años	10 a 15 años
<b>Impacto ambiental</b>	Positivo	Positivo	Positivo
<b>Eficiencia de biogás con la pulpa de café</b>	-	-	Mejor que otros
<b>Tipo de material</b>	Cemento; Ferrocemento; Ladrillos	Digestor: Cemento; Ferrocemento; Ladrillos Cúpula: acero anticorrosivo	Geomembranas de PVC y el sellado se realiza por alta frecuencia (HF)
<b>Tipo de sistema</b>	Semi – Continuo	Semi - Continuo	Semi – Continuo

Fuente: [13], [28] y [29]

### **3.3.3.1. Criterios o factores de evaluación**

#### **a. Costos de instalación**

En general, se dice que la construcción de biodigestores es de bajo costo, sin embargo, existen unos más económicos que otros. De los tres tipos que se está evaluando (tipo Chino, Hindú y Taiwán) la mayoría de autores y conocedores del tema coinciden en que el biodigestor de tipo Taiwán es el de más bajo costo que genera para su instalación y es por la disponibilidad de los materiales el cual es más fácil acceder del lugar en el que se pretende instalar, menor costo, y no requiere de mano de obra calificada además de que

existen empresas que ofrecen estos biodigestores ya prefabricados. Por otra parte se tiene al modelo chino y el hindú en el cual requiere de mano de obra calificada debido a la complejidad de su construcción, el principal material para estos tipos es el ladrillo y cemento, lo que al campo es más difícil de hacer llegar a comparación del PVC o polietilenos (material de tipo Taiwán), siendo el de menor costo el chino en comparación con el hindú [30] y [31]. Por tal motivo, la puntuación que se consideró para la evaluación de costos de instalación de los biodigestores tipos chino, hindú y Taiwán fue de 6, 5 y 8 respectivamente.

#### **b. Tecnología disponible**

En cuanto a la tecnología disponible existente para la producción de biogás, se está considerando la antigüedad de los biodigestores, es decir, mientras más moderno sea el biodigestor mejor será su aprovechamiento. Debido a que actualmente el tipo de biodigestor más usado es el modelo taiwán (también conocido como tubular o salchicha), es por el que más interés ha habido en agregarle dispositivos modernos por lo que en este factor tiene mayor ventaja en lo que son considerados más antiguos a los tipos chino e hindú.

#### **c. Facilidad de mantenimiento**

En [28] citado por [32], el mantenimiento para el biodigestor tipo taiwán tiene bajos niveles de mantenimiento siempre y cuando se hayan tomado medidas de protección a la bolsa de PVC (cerco perimetral, techo protector). En el caso de del biodigestor tipo chino, el mantenimiento es baja, no hay componentes móviles ni elementos que se oxiden. Y para el tipo hindú, existen altos niveles de mantenimiento a la cúpula flotante, eliminación de óxido, recubrimiento con anticorrosivos periódicamente. Por lo tanto, el tipo Taiwán y el chino tienen mayores ventajas en cuanto al mantenimiento a comparación del tipo hindú.

#### **d. Vida útil**

La vida útil de un biodigestor, sea el tipo que sea, depende gran parte del cuidado que se tiene al momento de instalar y/o el mantenimiento que se le realiza durante su funcionamiento. Sin embargo, en [30] menciona un tiempo aproximado de duración de los biodigestores de tipo chino, hindú y taiwán, los cuales son de hasta 20, 15 y 15 años respectivamente. Por lo tanto, para la selección del biodigestor se da una mayor valoración al que tiene mayor durabilidad.

#### **e. Impacto ambiental**

La digestión anaeróbica de los residuos a través de biodigestores trae una serie de impactos positivos al medio ambiente, ya que se evita que los residuos sean arrojados al medio y en la que producto de su descomposición se vierten muchos gases contaminantes. Sin embargo, existen de todos los tipos de biodigestores unos generan mejor impacto que otro, para los tres biodigestores evaluados para este estudio, el tipo Taiwán en cuanto al impacto ambiental es el que mejor actuación tiene con respecto a este tema a diferencia de los tipos más antiguos como son el tipo chino e hindú.

#### **f. Eficiencia de biogás con pulpa de café**

Según investigaciones, en cuanto a la producción de biogás a partir de la pulpa de café, fue en el biodigestor de tipo tubular o taiwán, en el que se obtuvo mejores resultados en cuanto a la producción de biogás [3]. De acuerdo a [33], los rangos de producción de biogás ( $m^3$  de biogás/ $m^3$  de biodigestor) de los digestores chino, hindu y Taiwán, son de 0,1 – 0,4; 0,4 – 0,6 y 0,8 – 1 respectivamente. Es decir, el digestor de tipo Taiwán es el que presenta mejor eficiencia.

#### **g. Tipo de material**

El material principal con el que se construyen los tipos chino e hindú es el cemento y ladrillo o bloque, con la diferencia que para el primero se utiliza varillas de hierro y para el otro se utiliza una cúpula flotante de acero anticorrosivo, todos estos materiales es más difícil y más costoso conseguir para la Asociación Sierra Norte Minas debido a su ubicación geográfica. Por lo que se da una mayor valoración al biodigestor de tipo Taiwán debido a que el material más común es plástico de PVC, además de ser de menor costo, existen empresas que ofrecen este tipo de biodigestores de manera prefabricada y no es tan complicado hacer su traslado hacia el lugar de instalación.

#### **h. Tipo de sistema**

La producción de pulpa de café durante la campaña en la Asociación Sierra Norte Minas no es continuo y tampoco discontinuo, por lo que es necesario un biodigestor que funcione con un sistema semi-continuo. Los tres tipos de biodigestores que se avalúa funcionan con sistema semi-continuo, el cual es lo que se requiere, por lo tanto a los tres tipos se le da una misma valoración para la evaluación de elección del digestor más adecuado

### 3.3.3.2. Matriz de enfrentamiento de criterios para elegir el biodigestor

En la tabla 14 se compara cada factor o criterio que se está teniendo en cuenta entre sí mismas para poder calcular su respectivo peso y de esta manera tener mayor certeza en la selección del equipo más conveniente. Los valores asignados a cada factor son en base a los mismos criterios utilizados en la tabla 10.

**Tabla 14 - Matriz de enfrentamiento de criterios para la selección del biodigestor**

	Costos de instalación	Tecnología disponible	Facilidad de mantenimiento	Vida útil	Impacto ambiental	Eficiencia de biogás con pulpa de café	Tipo de material	Tipo de sistema		
Costos de instalación		1	1	1	1	0	1	0	<b>5</b>	<b>14%</b>
Tecnología disponible	0		1	1	1	0	1	0	<b>4</b>	<b>11%</b>
Facilidad de mantenimiento	0	0		1	0	0	1	0	<b>2</b>	<b>6%</b>
Vida útil	1	0	1		1	0	1	0	<b>4</b>	<b>11%</b>
Impacto ambiental	0	0	1	0		0	1	0	<b>2</b>	<b>6%</b>
Antecedentes de producción de biogás con pulpa de café	1	1	1	1	1		1	1	<b>7</b>	<b>20%</b>
Tipo de material	1	1	1	0	1	0		0	<b>4</b>	<b>11%</b>
Tipo de sistema	1	1	1	1	1	1	1		<b>7</b>	<b>20%</b>

Al igual que en la selección del lugar más adecuado, para dar valor en la ponderación de factores presentes en la tabla 10 se tuvo presente la influencia del factor sobre las operaciones del sistema, su importancia estratégica, y la proyección de su relevancia en el tiempo. En la matriz se evaluó la importancia de cada factor con respecto al otro en la que:

Se asignó el valor de 1 al factor más importante que el factor con el que se está comparando. Y el valor de 0 al factor menos importante que el factor con el que se está comparando. En el caso de que ambos factores tengan un mismo nivel de importancia, a ambos factores se les asigna el valor de 1.

#### **3.3.3.3. Selección del biodigestor**

Una vez calculado la ponderación de cada factor se procede a evaluar las tres alternativas con la que se cuenta: Biodigestor tipo Chino, biodigestor tipo Hindú y biodigestor tipo Taiwán. Como se puede observar en la tabla 15, los dos factores con mayor importancia es la experiencia que ya existe en la producción de biogás con la pulpa de café y el tipo de sistema (semi-continuo, continuo o discontinuo) que para este caso es semi-continuo ya que solo se dispone de materia prima para el biodigestor cuando hay café cerezo por despulpar, ambos con una ponderación del 20%. Otro de los factores importantes es el costo de instalación (14%), el tipo Taiwán tiene mayor ventaja por la mayor facilidad de obtener ya que estos biodigestores ya existen semielaborados en el mercado, sin embargo, los otros dos tipos aparte de ser antiguos requieren considerar varios materiales para su construcción ya que generalmente se utilizan cemento, ladrillos, entre otros. Por lo tanto, una vez analizado estos factores resultó el biodigestor de tipo Taiwán como el más conveniente para este proyecto.

#### **3.3.4. Diseño del biodigestor**

En este punto se tendrá en cuenta la disponibilidad de pulpa de café en la actualidad y lo que se tendrá en los siguientes años para que en base a eso posteriormente se haga el cálculo del tamaño o volumen necesario del biodigestor.

**Tabla 15 - Selección del biodigestor más adecuado**

Factores	Ponderación	Alternativas					
		B. Chino		B. Hindú		B. Taiwán	
Costos de instalación	14%	6	0,86	5	0,71	8	1,14
Tecnología disponible	11%	6	0,69	6	0,69	8	0,91
Facilidad de mantenimiento	6%	7	0,40	5	0,29	7	0,40
Vida útil	11%	8	0,91	7	0,80	7	0,80
Impacto ambiental	6%	6	0,34	6	0,34	7	0,40
Eficiencia de biogás con pulpa de café	20%	2	0,40	2	0,40	8	1,60
Tipo de material	11%	6	0,69	5	0,57	8	0,91
Tipo de sistema	20%	8	1,60	8	1,60	8	1,60
	100%		<b>5,89</b>		<b>5,40</b>		<b>7,77</b>

### 3.3.4.1. Pronóstico de la producción de la pulpa de café (residuo)

Mediante el método de regresión lineal, método elegido debido a que el historial de producción en la ASNM tiene un coeficiente de correlación cercano a uno (0,99), pronosticamos la producción de pulpa de café hasta el año 2022. Para realizar esta proyección se consideró desde el año 2015 ya que es el año en que la asociación se formó y en la que se realiza un plan de trabajo más estable, después de haber pasado por una inestabilidad y crisis en los años anteriores en tema de producción del café.

En los últimos años la producción de café ha venido aumentando como se puede avizorar en la Figura 28, este aumento es principalmente por dos razones; al asociarse los productores empezaron a tener más facilidad en lo que es capacitación y asistencia técnica lo que a consecuencia se mejoró las prácticas agrícolas aumentando así el rendimiento de su producción, y por otro lado en los últimos años se ha venido cultivando nuevas áreas de café ocasionando aumento de la producción. Cabe indicar que el café empieza a producir después de los dos años de haber sido cultivado o sembrado, por lo que nos asegura que por lo menos hasta el año 2020 la producción del café seguirá en crecimiento, por ende, la pulpa de café.

Para realizar un pronóstico mediante el método de regresión lineal es necesario conocer y aplicar las ecuaciones (2), (3) y (4) el cual nos permite conocer la tendencia que tiene la producción en

casos futuros. En primer lugar calculamos el promedio por mes, factor mensual, y producción sin factor mensual.

**Tabla 16 - Promedio y factor mensual**

<b>Año</b>	<b>Mes</b>	<b>Producción (kg)</b>	<b>Promedio (kg)</b>	<b>Factor mensual</b>	<b>Producción sin factor mensual (kg)</b>
2015	Abril	1 765,2	1 810,6	0,12	14 709,80
	Mayo	8 825,9	9 053,0	0,60	14 709,80
	Junio	26 477,6	27 159,1	1,80	14 709,80
	Julio	30 890,6	31 685,6	2,10	14 709,80
	Agosto	13 238,8	13 579,6	0,90	14 709,80
	Setiembre	7 060,7	7 242,4	0,48	14 709,80
2016	Abril	1 809,9	1 810,6	0,12	15 082,20
	Mayo	9 049,3	9 053,0	0,60	15 082,20
	Junio	27 148,0	27 159,1	1,80	15 082,20
	Julio	31 672,6	31 685,6	2,10	15 082,20
	Agosto	13574,0	13 579,6	0,90	15 082,20
	Setiembre	7 239,5	7 242,4	0,48	15 082,20
2017	Abril	1 856,8	1 810,6	0,12	15 473,17
	Mayo	9 283,9	9 053,0	0,60	15 473,17
	Junio	27 851,7	27 159,1	1,80	15 473,17
	Julio	32 493,7	31 685,6	2,10	15 473,17
	Agosto	13 925,9	13 579,6	0,90	15 473,17
	Setiembre	7 427,1	7 242,4	0,48	15 473,17
<b>Total</b>		<b>27 1591</b>			
<b>Promedio</b>		<b>15 088</b>			

Ahora, se calcula los valores de las variables para encontrar a y b para reemplazar en la ecuación.

**Tabla 17 - Valor de variables para el cálculo del pronóstico**

	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>X*Y</b>	<b>X<sup>2</sup></b>
	1	14 709,80	14 709,80	1
	2	14 709,80	29 419,60	4
	3	14 709,80	44 129,40	9
	4	14 709,80	58 839,20	16
	5	14 709,80	73 549,00	25
	6	14 709,80	88 258,80	36
	7	15 082,20	105 575,40	49
	8	15 082,20	120 657,60	64
	9	15 082,20	135 739,80	81
	10	15 082,20	150 822,00	100
	11	15 082,20	165 904,20	121
	12	15 082,20	180 986,40	144
	13	15 473,17	201 151,17	169
	14	15 473,17	216 624,33	196
	15	15 473,17	232 097,50	225
	16	15 473,17	247 570,67	256
	17	15 473,17	263 043,83	289
	18	15 473,17	278 517,00	324
Total	171	271 591,00	2 607 595,70	2 109,00
Promedio	9,5	1 5088,39		

Una vez obtenido los valores de a y b, se puede calcular el pronóstico de la producción de pulpa de café para los siguientes.

<b>a =</b>	<b>14 549,54</b>
<b>b =</b>	<b>56,72</b>
<b>Y =</b>	<b>14549,54 + 56,72X</b>

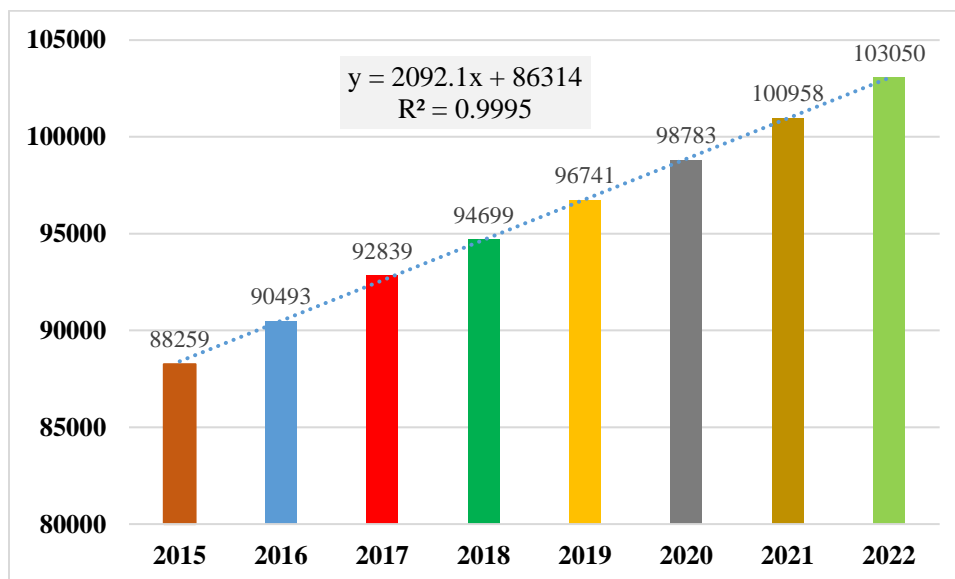
**Tabla 18 - Pronóstico por el método de regresión lineal**

<b>Año</b>	<b>X</b>	<b>Mes</b>	<b>Pronóstico</b>	<b>Factor mensual</b>	<b>Producción con factor mensual</b>	<b>Producción anual</b>
2018	19	Abril	15 627,24	0,12	1 875,27	94 699
	20	Mayo	15 683,96	0,60	9 410,37	
	21	Junio	15 740,68	1,80	28 333,22	
	22	Julio	15 797,40	2,10	33 174,54	
	23	Agosto	15 854,12	0,90	14 268,71	
	24	Setiembre	15 910,84	0,48	7 637,20	
	25	Abril	15 967,56	0,12	1 916,11	
	26	Mayo	16 024,28	0,6	9 614,57	
	27	Junio	16 081,00	1,8	28 945,80	
	28	Julio	16 137,72	2,1	33 889,22	
	29	Agosto	16 194,44	0,9	14 575,00	
	30	Setiembre	16 251,16	0,48	7 800,56	
	31	Abril	16 307,88	0,12	1 956,95	
	32	Mayo	16 364,61	0,6	9 818,76	
	33	Junio	16 421,33	1,8	29 558,39	
	34	Julio	16 478,05	2,1	34 603,90	
35	Agosto	16 534,77	0,9	14 881,29		
36	Setiembre	16 591,49	0,48	7 963,91		

**Tabla 19 - Resumen de pronóstico por año**

AÑO	Pulpa de café (kg)
2015	88 259
2016	90 493
2017	92 839
2018	94 699
2019	96 741
2020	98 783

Entonces, en la tabla 19 se observa la proyección de la generación de pulpa de café en base a un historial de tres años. Sin embargo, para este estudio se vio conveniente pronosticar hasta el año 2022 por lo que con la ecuación resultante al graficar las cantidades de la tabla 19 se obtuvo lo siguiente:  $y = 2092,1x + 86314$  y  $R^2 = 0,9995$ ; en base dicha ecuación se procede a pronosticar dos años más, los resultados se muestran en la Figura 28.



**Figura 28 - Pronóstico de la generación de la pulpa de café**

Por lo tanto, con estas cantidades de pulpa de café se garantiza que el tamaño diseñado del sistema de producción de biogás se utilizará en su totalidad en los años venideros.

A continuación se hace el cálculo del tamaño del sistema, lo que incluye el tamaño del biodigestor, cantidad de agua requerida, cantidad de producción de biogás, electricidad, entre otras cosas. Sin embargo, es muy importante mencionar que todos los cálculos realizados se hicieron en base a la generación de pulpa de café del año 2017, y no lo que normalmente debería ser del año 2022 ya que es el año máximo pronosticado, por los siguientes motivos: en primer lugar, porque en el momento de la investigación 2017 es la mayor producción que se tuvo registrado; luego, porque se realizó un cálculo preliminar basado en antecedentes lo que fue posible asegurar que con la cantidad de pulpa del 2017 se produciría la suficiente cantidad de biogás para cubrir todo lo que necesita la ASNM, es decir, considerando la cantidad del 2022 habría una producción excesiva de biogás que puede generar otros costos. Además, el objetivo principal de esta investigación es mejorar el proceso de despulpado por lo que lo más importante es ver que la cantidad producida de biogás o electricidad sí pueda hacer posible el cumplimiento de este objetivo.

#### **3.3.4.2. Cálculo del volumen del biodigestor**

Los cálculos realizados para determinar principalmente el tamaño del biodigestor son en base a la generación de pulpa de café del mes de mayor producción en el año 2017. Durante los 6 meses de campaña, el mes de julio es donde llegan a su máxima producción, es decir, con los residuos generados en este mes es donde los biodigestores funcionarían a su máxima capacidad. Según el pronóstico la producción va a ir aumentando, con esta información se afirma que en los siguientes años en el mes de julio va a quedar un excedente de residuos que los productores pueden aprovecharlo de otras maneras principalmente como abono orgánico junto a los lodos residuales que generan los biodigestores, sin embargo, los otros 5 meses si se aprovechan todos los residuos generados. Y como ya se mencionó anteriormente otro de los motivos por lo que el cálculo se realizó con lo generado en el año 2017 y no con el pronosticado es que se tiene estimado (como se verá más adelante) que habrá una sobreproducción de biogás y en su efecto energía eléctrica en comparación a lo que la asociación de cafetaleros necesita.

##### **a. Cantidad de agua a agregar**

Según César Guazzaroni [34] la materia prima preparado para alimentar al biodigestor debe tener un máximo de 10% de material seco, es decir, por ejemplo si se tiene un 100 kg de residuo con una

humedad del 80% se debe agregar a esta cantidad 100 litros de agua lo cual dejaría una solución al 10%.

Por lo tanto, como se puede observar en la tabla 7, la pulpa de café analizada para esta investigación tiene un porcentaje de humedad del 82,52%. Si relacionamos la pulpa de café con el ejemplo anterior, resultaría que para 100 kg de pulpa de café se le debe agregar aproximadamente 97 litros de agua, la pequeña diferencia de cantidad de agua se debe a que la pulpa de café tiene una humedad del 82,52%, es decir, más del 80% como fue el caso anterior.

En el proceso de beneficiado de café una de las etapas es el lavado del café despulpado después de haber fermentado por aproximadamente 24 horas, en este lavado se emplea una considerable cantidad de agua que aproximadamente es de 8 litros por cada kilogramo de café pergamino seco obtenido [35]. Sin embargo, por otro lado se dice que al utilizar tinajas de agua como es el caso de la mayoría de cafetaleros de la ASNM se tiene un menor consumo de agua, aproximadamente de 5 litros por cada kilogramo de café pergamino seco obtenido [36].

Teniendo en cuenta entonces que se va a trabajar o realizar los cálculos en base a lo producido en el 2017, tenemos que se produjo 831 quintales de café (ver tabla 9) lo que equivale a 46 536 kg de café pergamino seco (cps), por lo tanto:

$$1 \text{ kg de cps} \text{ ----- } 5 \text{ litros de H}_2\text{O}$$

$$46 \text{ 536 kg de cps} \text{ ----- } X$$

$$\mathbf{X = 232 \text{ 680 litros de H}_2\text{O}}$$

Entonces, aproximadamente 232 680 litros de agua finalmente terminarán siendo residuales el cual se puede aprovechar para la mezcla con la pulpa de café para su posterior fermentación. De acuerdo a la tabla 20 se tiene que en el 2017 se generó 92 839 kg de pulpa de café, y como ya se calculó anteriormente, por cada kg de pulpa de café es necesario 0,97 litros de agua para poder ser mezclado e introducido al biodigestor.

Por lo tanto, se dispone de 2,5 litros de agua residuales (232 680/92 839) por cada kg de pulpa de café, sin embargo se necesita menos de 1 litro, por el cual se asegura que para el proceso de producción de biogás el uso de agua será todo de las aguas residuales del lavado del café y de esta

manera evitar utilizar fuentes de agua limpia así como evitar que parte de las aguas residuales del lavado sea vertido al ambiente generando impactos negativos.

### b. Cálculo del tamaño del biodigestor

Para calcular el tamaño del biodigestor se consideró la siguiente ecuación general que deriva de la ecuación (1):

$$\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)} = (\text{Volumen de carga diaria})\text{m}^3/\text{día} \times (\text{TRH}) \text{ días}$$

Por lo que se necesitó antes conocer el volumen de carga diaria y tiempo de retención hidráulico (TRH). El volumen de carga diaria se da de acuerdo a la cantidad de residuos que se dispone diariamente, para esto, con los datos mensuales que se tiene se dividió entre 30 días al mes para obtener la cantidad de residuos por día aproximadamente (tabla 20).

**Tabla 20 - Producción de pulpa de café por día en el año 2017**

Meses	Mensual (kg)	Diario (kg)
Abril	1 857	62
Mayo	9 284	309
Junio	27 852	928
Julio	32 494	1 083
Agosto	13 926	464
Setiembre	7 427	248
<b>Total</b>	<b>92 839</b>	

Como se observa en la tabla 20 la cantidad diaria de disponibilidad de residuos varía, por lo tanto, considerando el día que más residuos existe, el cual son los días del mes de julio con 1 083 kg diarios y más la cantidad de agua que se le debe agregar, la carga diaria resulta:

$$\text{Cantidad de residuo (pulpa de café)} = 1\ 083 \text{ kg/día}$$

$$\text{Densidad de la pulpa de café [37]} = 0,4425 \text{ kg/L}$$

$$\text{Agua requerida} = 1\ 050,5 \text{ L/día}$$

$$\text{Carga diaria} = 1\,083 \text{ kg} \left( \frac{1 \text{ L}}{0,4425 \text{ kg}} \right) + 1\,050,5 \text{ L}$$

$$\text{Carga diaria} = 3\,497,97 \frac{\text{L}}{\text{día}} = \mathbf{3,5 \frac{m^3}{día}}$$

El TRH es el tiempo de fermentación que va a permanecer el residuo dentro del biodigestor hasta que este produzca el biogás, depende principalmente de la temperatura, por lo que para calcular el TRH se consideró la siguiente relación [38]:

$$\text{TRH} = (-51,227 * \text{Ln}(T^{\circ}\text{C}) + 206,72)$$

La zona donde se encuentra la Asociación Sierra Norte Minas, la temperatura promedio es de 27°C, por lo que reemplazamos en la ecuación

$$\text{TRH} = (-51,227 * \text{Ln}(27^{\circ}\text{C}) + 206,72)$$

$$\text{TRH} = 37,88 \text{ días} \approx 38 \text{ días}$$

Entonces, volviendo a la ecuación visto anteriormente, calculamos el volumen del biodigestor:

$$\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)} = (\text{Volumen de carga diaria})\text{m}^3/\text{día} \times (\text{TRH}) \text{ días}$$

$$\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)} = \left( 3,5 \frac{\text{m}^3}{\text{día}} \times 38 \text{ días} \right) \times 1,2$$

$$\text{Volumen del digestor (m}^3\text{)} = 159,6 \text{ m}^3 \approx \mathbf{160 \text{ m}^3}$$

Por lo tanto, el volumen del biodigestor que se requiere es de 160 m<sup>3</sup>, cabe mencionar que se multiplica por el 1,2 ya que es necesario agregar un 20 % del tamaño para el almacenamiento del biogás que se va produciendo [13].

Sin embargo, debido a la gran variación que existe de la disponibilidad de pulpa de café diariamente, por ejemplo los días de julio (1 083 kg) con los días de abril (62 kg); se optó por elegir dos biodigestores del mismo tamaño, es decir, de 80 m<sup>3</sup> cada uno. Con esto, los dos primeros meses solo se hace uso de un solo biodigestor, y luego al generarse más residuos los siguientes meses se dispone el funcionamiento del otro biodigestor.

Por otro lado, es importante mencionar que de acuerdo a la producción proyectada hasta el 2022, la cantidad de producción de biogás en estos biodigestores será suficientes para producir la energía eléctrica que la asociación en sí requiere.

**c. Área total requerida para instalación del sistema**

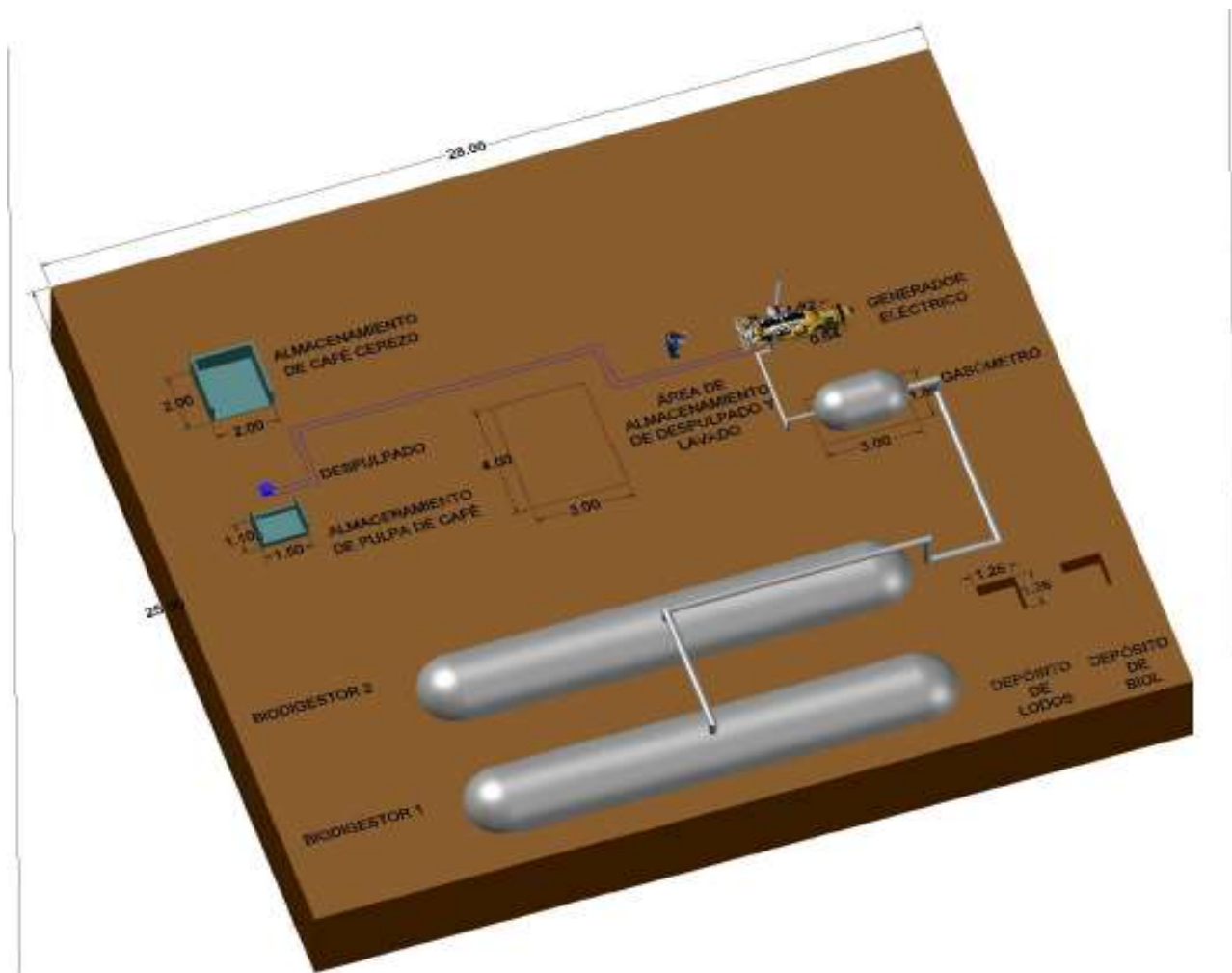
Para calcular el espacio que se necesita se utilizó el método de Guerchet, éste método consiste en determinar el espacio físico que se requiere para la instalación de una planta. Para esto fue necesario identificar todas las máquinas y operarios que requeridos para el funcionamiento del sistema de producción de biogás.

**Tabla 21 - Método Guerchet para el cálculo del área necesaria**

Componentes	Cantidad	Dimensiones					Áreas			Total (m2)
		Largo (m)	Ancho (m)	Alto (m)	N	Ss	Sg	K	Se	
Máquina despulpadora	1	0,73	0,36	0,56	3	0,15	0,44	0,62	0,365	0,95
Almacenamiento de café cerezo	1	2	2	1,25	2	5,00		0,62	9,3	8,10
Depósito de pulpa de café	1	1,5	1,1	1,5	2	2,48	4,95	0,62	4,604	12,03
Biodigestor	2	15,7	2,55	2,55	2	102,09	204,18	0,62	189,9	496,15
Depósito de biol	1	1,4	1,3	1	2	1,82	3,64	0,62	3,385	8,85
Depósito de lodos	1	1,4	1,3	1	2	1,82	3,64	0,62	3,385	8,85
Desulfurizador del biogás	1	0,2	0,2	0,3	4	0,01	0,05	0,62	0,037	0,10
Gasómetro	1	3	1,8	1,8	3	9,72	29,16	0,62	24,11	62,99
Generador eléctrico	1	1,2192	0,635	0,7366	3	0,57	1,71	0,62	1,414	3,70
Almacenamiento de café despulpado	1	2	2	1,25	2	5		0,62	9,3	8,10
Operarios	3					0,50				1,50
										611,30

### 3.3.4.3. Distribución del sistema de aprovechamiento del biogás producido a partir de la pulpa de café para generar electricidad.

A continuación se ilustra la distribución de las diferentes etapas que participan en el sistema de generación de electricidad el cual inicia con el almacenamiento del café cerezo traído directamente del campo, luego este café pasa al despulpado en la que junto está el almacenamiento de la pulpa de café que sale del despulpado. La pulpa de café es llevado a los biodigestores en la que se producirá el biogás, este biogás es almacenado para luego pasar al generador de energía, que finalmente esta energía es utilizada en el proceso de despulpado.



TÍTULO: SISTEMA DE GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A PARTIR DE LA PULPA DE CAFÉ

ESCALA: 1:100

ALUMNO: RONY MILER FERNANDEZ FRIAS

LÁMINA: 01

### 3.3.5. Cantidad de biogás a producir

La generación de pulpa de café durante el año 2017 (tabla 9) fue de 92 839 kg, a continuación se calcula la cantidad posible de biogás a producirse con la cantidad total de estos residuos.

Para esto, se necesita el valor de materias volátiles de la pulpa de café, ya que es lo que teóricamente se va a convertir en metano (componente principal del biogás) [13]. Como ya se calculó anteriormente, el porcentaje de materia volátil resultó un valor de 4,26%, es decir, de la cantidad total de pulpa el 4,26% se teóricamente se convertirá en metano (CH<sub>4</sub>).

Entonces, si multiplicamos los 92 839 kg de pulpa de café con el 4,26%, se obtiene 3 954,95 kg de materia volátil (materia orgánica).

$$\text{Materia volátil} = (92\ 839\ \text{kg}) \times (4,26\%) = \mathbf{3\ 954,95\ \text{kg}}\ \text{de MoS}$$

En un estudio sobre el rendimiento de metano a partir de la pulpa de café arábica nos afirma que obtuvo como resultado la producción 252,6 mL CH<sub>4</sub>/g MoS (MoS = materia orgánica seca, o materia volátil) con condiciones de temperatura y a una presión de 1 atmósfera [39]. Por lo tanto, en base a la relación anterior; de los 3 954,94 kg de materia volátil se obtiene 999 017,84 L de CH<sub>4</sub>, es decir, 999,02 m<sup>3</sup>.

$$252,6\ \text{litros de CH}_4\ \text{-----}\ 1\ \text{kg de MoS}$$

$$X\ \text{litros de CH}_4\ \text{-----}\ 3\ 954,95\ \text{kg de MoS}$$

$$\mathbf{X = 999\ 020\ \text{litro de CH}_4}$$

Diferentes autores afirman que en promedio la cantidad de metano en el biogás es del 60%, entonces esto significa que con **999,02 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>**, la cantidad total de biogás resultante es de **1665,03 m<sup>3</sup>** en el año 2017.

### 3.3.6. Energía eléctrica a partir del biogás

#### 3.3.6.1. Cantidad de energía requerida

En la Asociación Sierra Norte Minas se calculó que el tiempo aproximado que tardaría una persona para despulpar 14 kg de café cerezo (capacidad de la máquina despulpadora) es de 6,52 minutos, llegando a despulpar un aproximado de 934 kg al día (un peón) que al final se convierte en 4,5 quintales aproximadamente; lo que significa que por ejemplo en base a la producción del año 2018, durante toda la campaña se requiere de 1 360,82 horas para esta actividad (ver tabla 22).

Sin embargo, por experiencia de algunos cafetaleros afirman que llevando a cabo el proceso de despulpado con la utilización de un motor, el tiempo que tarda en despulpar los 14 kg de café cerezo es de 2 minutos. Por lo tanto, como se muestra en la siguiente tabla la cantidad de horas totales requeridas para despulpar toda la producción de la campaña del 2018 bajaría a 536,81 horas. Es importante recordar que según los especialistas, el café debe ser despulpado el mismo día de su cosecha, pero actualmente en la Asociación Sierra Norte Minas no cumplen con esto debido a la lentitud con la que se realiza es éste proceso.

Entonces, lo que se propone en que este estudio es que el proceso se realice con la utilización de un motor que funcione con el biogás producido a partir de los mismos residuos que se obtiene en este proceso. La potencia más adecuada del motor que sea capaz de mover a la máquina despulpadora es un motor eléctrico de 1 HP, el cual tiene un consumo de 0,746 kW por cada hora de funcionamiento; por lo tanto realizando los cálculos respectivos resultó un requerimiento de 420 kW de energía eléctrica para el caso del año 2018 tal como se observa en la tabla 22.

**Tabla 22 - Requerimiento de energía eléctrica para el despulpado**

<b>Año</b>	<b>Café cerezo (kg)</b>	<b>Despulpado manual* (h)</b>	<b>Despulpado con motor** (h)</b>	<b>Requerimiento de energía eléctrica*** (kW)</b>
2018	225 462	1360,82	536,81	420
2019	230 329	1390,20	548,40	430
2020	235 596	1421,99	560,94	439
2021	240 650	1452,50	572,98	449
2022	245 694	1482,94	584,98	458

Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

\*En la tabla 4 se tiene todos los tiempos que se relacionan al proceso de despulpado el cual resulta de 6,52 minutos por cada lata (14 kg), sin embargo, en lo que se refiere específicamente a la etapa de despulpado el tiempo de despulpado por lata es de 5,07 minutos. Por lo tanto se tiene por ejemplo que para despulpar 14 kg (1 lata) se requiere de 5,07 min entonces en el año 2022 para los 245 694 kg de café cerezo se necesita 88 976,33 minutos, es decir, 1 482, 94 horas, y lo mismo para los otros años.

\*\*En la etapa netamente de despulpado manual es de 5,07 min como se muestra en la tabla 4, sin embargo, con la propuesta de esta investigación este tiempo baja a 2 min por cada lata despulpada (el motor reemplaza a la mano de obra). Entonces al cambiar el tiempo de despulpado, el tiempo total que incluye las actividades del proceso de despulpado baja de 6,52 min a 3,45 min. Por lo tanto si para 14 kg (1 lata) se emplea los 2 min, para los 245 694 kg se necesita 35 099, 14 min, es decir, 584,98 horas; de igual manera se calculó para los demás años presentes en la tabla 4.

\*\*\*Y en cuanto al requerimiento de energía eléctrica para el despulpado, se mencionó que el motor es de 1 HP (0,746 kW), se multiplicó la cantidad de horas posibles a trabajar por la potencia (0,746); además, a los resultados de requerimiento de energía eléctrica se le aumentó un 5% de consumo por los posibles momentos que el motor esté en funcionamiento pero sin despulpar, es decir, funcionando la máquina sola sin suministro de la materia prima. El resultado de los cálculos se muestra en la tabla 22.

Además, al no existir suministro de energía eléctrica en el lugar es necesario considerar que en muchos casos el proceso de despulpado no se podrá terminar durante el día, por lo que obligatoriamente se tiene que continuar en la noche. Por lo que, se consideró que es necesario como mínimo la utilización de 3 focos led de 18 W.

### 3.3.6.2. Cantidad posible a producirse

Según Dieter Deublein [15] citado por la FAO [13] afirma que de 1 m<sup>3</sup> de biogás es posible obtener entre 6 a 6,5 kWh de contenido energético. No obstante, para calcular con más precisión la cantidad de energía eléctrica a obtener, se utiliza el poder calorífico del metano: 37 270 kJ/m<sup>3</sup> [40]. Por lo tanto, anteriormente se calculó que la cantidad de CH<sub>4</sub> es de 999,02 m<sup>3</sup>, resultando entonces 37 233 475,4 kJ; convirtiendo a kW, da un valor total de 10 342,63 kWh (1 kWh = 3 600 kJ).

$$\text{Contenido energético total} = \left( \frac{37270 \text{ kJ}}{\text{m}^3} \right) (999,02 \text{ m}^3) = 37\,233\,475,4 \text{ kJ}$$

Entonces, convirtiendo a kWh se tendría una cantidad de:

$$\text{Cantidad de electricidad} = \left( \frac{1 \text{ kW}}{3600 \text{ kJ}} \right) (37\,233\,475,4 \text{ kJ}) = 10\,342,63 \text{ kWh}$$

Sin embargo, según [41] asegura que la mayoría de los generadores eléctricos tiene una eficiencia de 90% a 96%. Por lo tanto, poniéndose en el peor de los casos y considerando una eficiencia del 90%, la cantidad de energía a obtener sería:

$$\text{Cantidad de energía eléctrica} = (10\,342,63 \text{ kWh})(0,9) = \mathbf{9\,308,37 \text{ kWh}}$$

#### - **Energía eléctrica sobrante**

Además de la energía que se requiere para el funcionamiento de la máquina despulpadora es válido considerar el uso de iluminación, para esto se consideró que es necesario el uso de 3 focos led de 18 W. En promedio estas iluminarias estarán prendidas 4 horas diarias, considerando 26 días laborables al mes y los 6 meses de que dura la campaña resulta un requerimiento de 42,12 kW en total.

**Tabla 23 - Requerimiento de electricidad en la Asociación Sierra Norte Minas**

<b>Año</b>	<b>Requerimiento de energía eléctrica para el despulpado (kW)</b>	<b>Requerimiento de electricidad para iluminación (kW)</b>	<b>Total (kW)</b>
2018	420	42,12	463
2019	430	42,12	472
2020	439	42,12	482
2021	449	42,12	491
2022	458	42,12	500

### **3.4. ANÁLISIS COSTO – BENEFICIO ECONÓMICO Y AMBIENTAL DE LA PROPUESTA**

En el presente objetivo se analiza los costos y beneficios que se va a generar en este proyecto de investigación, además se analiza el beneficio ambiental posible a tener la Asociación Sierra Norte Minas con la aplicación de este proyecto.

#### **3.4.1. Análisis de costos**

Para la implementación de este proyecto naturalmente se requiere hacer una inversión, entre los que más destacan están los biodigestores, el gasómetro o reservorio de biogás, el generador eléctrico a biogás, el motor para la máquina despulpadora, entre otros accesorios necesarios para el funcionamiento del sistema de producción de biogás que se detallan en los siguientes puntos.

Además, es importante que los biodigestores estén protegidos por unos fitotoldos para evitar la caída directa del sol así como de la lluvia el cual aceleraría el deterioro de la geomembrana del biodigestor.

Cabe resaltar que para la instalación de este sistema de generación de electricidad con el biogás producido con la pulpa de café, se necesitará una determinada área o terreno como ya se calculó anteriormente con el método de Guerchet.

### 3.4.1.1. Costo de maquinaria y equipos necesarios para el funcionamiento del sistema de producción de biogás, y en su efecto electricidad.

A continuación, en la tabla 24 se muestra los costos estimados del generador eléctrico, el motor de 1 hp para la despulpadora, los dos biodigestores, al gasómetro (almacén de biogás), una bomba de biogás y un kit de biogás.

**Tabla 24 - Costo estimado de maquinaria y equipos para el sistema**

<b>MAQUINARIA</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (Unid)</b>	<b>Precio (S/)</b>	<b>Total S/</b>
Generador (Generac Guardian Series 5518) (1)	1	S/. 9,340.00	S/. 9,340.00
Motor de despulpadora (2)	1	S/. 333.97	S/. 333.97
<b>Subtotal</b>			<b>S/. 9,673.97</b>
<b>EQUIPOS</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad (unid)</b>	<b>Precio (S/.)</b>	<b>Total S/</b>
Biodigestor (3)	2	S/. 12,426.00	S/. 24,852.00
Gasómetro (4)	1	S/. 2,485.00	S/. 2,485.00
Bomba de biogás (5)	1	S/. 141.90	S/. 141.90
Kit de biogás (desulfurizador, columna de agua) (6)	1	S/. 100.00	S/. 100.00
<b>Subtotal</b>			<b>S/. 27,578.90</b>
<b>TOTAL</b>			<b><u>S/. 37,252.87</u></b>
<p>(1) En el anexo 14 se muestra el monto de este tipo de generador según la empresa peruana Edipesa.</p> <p>(2) El grano de café cerezo es suave por lo que no se necesita un motor con mucha potencia, generalmente se utiliza un motor de 1 HP. El monto estimado se presenta en el anexo 15.</p> <p>(3) y (4) La cotización detallada de los biodigestores está detallada en el anexo 16 por parte de la empresa Cidelsa, ubicada en la ciudad de Lima.</p> <p>(5) Una bomba de biogás de 20 W para aumentar la presión y flujo del biogás.</p> <p>(6) Otros accesorios necesarios en el sistema de producción de biogás.</p>			

### 3.4.1.2. Costos de construcción

#### a. Costo de accesorios para el fitotoldo

Para evitar cualquier incidente, que puede ser generado por animales, lluvia, el sol, o propiamente por las personas; es conveniente que los biodigestores vayan protegidos por un fitotoldo de plástico la cual se detalla en la tabla 25.

**Tabla 25 - Costo de la instalación del fitotoldo**

<b>Descripción</b>	<b>Unidad</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo Unitario (S/)</b>	<b>Costo Total (S/)</b>
Plástico polietileno para forrar la zanja	metros	25	S/. 4.00	S/. 100.00
Plástico Agrofilm para techar el fitotoldo	Unid.	100	S/. 5.50	S/. 550.00
Palos rollizos delgados para techar el fitotoldo	Unid.	30	S/. 5.00	S/. 150.00
Clavos mixtos (de 3" y 4") para techar el fitotoldo	kg	1	S/. 7.00	S/. 7.00
<b>Total</b>				<b>S/. 807.00</b>

#### b. Costo total por construcción

A continuación en la tabla 26 se detalla los costos en la que se incurre para la instalación del sistema de producción de electricidad a partir del biogás generado en los biodigestores con la pulpa de café.

**Tabla 26 - Costos estimados para la construcción del sistema**

<b>Maquinaria</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio</b>	<b>Total S/</b>
<b>Nivelación</b>	1	S/. 100.00	S/. 100.00
<b>Mano de obra</b>	5	S/. 30.00	S/. 150.00
<b>Materiales</b>	1	S/. 100.00	S/. 100.00
<b>Fitoldo</b>	1	S/. 807.00	S/. 807.00
<b>Protección (casa) para el generador eléctrico</b>	1	S/. 250.00	S/. 250.00
<b>Cerco</b>	1	S/. 199.90	S/. 199.90
<b>Total</b>			<b>S/. 1,606.90</b>

### 3.4.1.3. Costo de mano de obra

En cuanto al personal necesario para llevar en funcionamiento del sistema de producción de electricidad a partir de la pulpa de café se presenta en la tabla 28. En primer lugar es importante que haya un encargado a tiempo completo del funcionamiento del sistema, esta persona debe ser de preferencia un técnico profesional, lo cual ya hay en el lugar, para que haya un mejor manejo de todo el sistema en general. Por otro lado se considera dos operarios pero solo para los meses de mayo, junio, julio y agosto ya que son los meses centrales de la campaña. Y en cuanto a los meses de abril y setiembre por ser el inicio y el fin de la campaña es donde se realiza las primera y ultimas cosechas que vienen ser menores cantidades en comparación con los otros meses por lo que a parte del encargado, un operario es suficiente para el manejo del sistema.

**Tabla 27 - Costo de mano de obra directa e indirecta**

SUELDOS					
COLABORADOR	CANTIDAD	SALARIO S/	BENEFICIOS	SUB TOTAL Mensual/op	Total anual/op
			51%		
Administrador	1	930	474.3	1404.3	S/. 8,425.80
Operarios (de mayo a agosto)	2	930	474.3	1404.3	S/. 11,234.40
Operarios (abril y setiembre)	1	930	474.3	1404.3	S/. 2,808.60
Servicio de asesoría	1				S/ 430.00
<b>TOTAL</b>					<b>S/. 22,898.80</b>

### 3.4.1.4. Inversión total

De la inversión total, aproximadamente el 43% será financiado por los propios cafetaleros miembros de la asociación en medida del área o cantidad de producción que tiene cada uno, ya que no todos cuentan con la misma cantidad. Y además recordar que son 24 miembros por lo que el monto a pagar está en las condiciones de hacerlo.

**Tabla 28 - Inversión total del proyecto**

<b>Descripción</b>	<b>Inversión Total S/</b>	<b>Promotor del Proyecto S/</b>	<b>Financiamiento S/</b>
CAPITAL DE TRABAJO			
<b>Inversión tangible</b>			
Terrenos	S/. 25,000.00	S/. 25,000.00	
Construcciones	S/. 1,606.90	S/. 1,606.90	
Infraestructura Industrial	S/. -		S/. -
Maquinaria	S/. 9,673.97		S/. 9,673.97
Equipos	S/. 27,578.90		S/. 27,578.90
Materiales	S/. 288.00	S/. 288.00	
Equipamiento de trabajo	S/. 121.30	S/. 121.30	
<b>Total Inversión Tangible</b>	<b>S/. 64,269.07</b>	<b>S/. 27,016.20</b>	<b>S/. 37,252.87</b>
	S/. -	S/. -	S/. -
<b>Total de Inversión Intangible</b>	S/. -	S/. -	S/. -
Imprevistos %	S/. 1,345.38	S/. 1,345.38	
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	<b>S/. 65,614.45</b>	<b>S/. 28,361.58</b>	<b>S/. 37,252.87</b>
Porcentaje	100%	43%	57%

**a. Pago del préstamo**

Para el financiamiento que es de aproximadamente el 57% de la inversión se eligió a Agro banco ya que por estar el proyecto en el rubro de agricultura este banco ofrece un interés del 11% anual con un plazo de pago hasta de cuatro años. La Asociación Sierra Norte Minas es mucho más conveniente pagar su deuda de manera anual ya que no perciben ingresos mensualmente, sino por cada campaña de producción de café.

**Tabla 29 - Cuotas de pago de deuda en Agrobanco**

<b>Cuota</b>	<b>Deuda</b>	<b>Amortización</b>	<b>Interés</b>	<b>Cuota por Financiamiento</b>	<b>I.T.F. 0.005%</b>	<b>Cuota Total a Pagar</b>
<b>0</b>	S/.37,252.37			S/. -37,252.37		S/. -
<b>1</b>	S/.29,342.71	S/. 7,909.66	S/. 4,097.76	S/. 12,007.42	S/. 0.60	S/. 12,008.02
<b>2</b>	S/.20,562.99	S/. 8,779.72	S/. 3,227.70	S/. 12,007.42	S/. 0.60	S/. 12,008.02
<b>3</b>	S/.10,817.50	S/. 9,745.49	S/. 2,261.93	S/. 12,007.42	S/. 0.60	S/. 12,008.02
<b>4</b>	S/. -0.00	S/. 10,817.50	S/. 1,189.92	S/. 12,007.42	S/. 0.60	S/. 12,008.02
						<b>S/. 48,032.08</b>

### **3.4.2. Análisis de beneficio económico**

El beneficio económico definitivamente es alentador, los ingresos de los productores por cada quintal de café tendrían una variación positiva de +11%.

Actualmente, el café de esta asociación de productores de café tiene un rendimiento físico del 63% y un rendimiento en taza de los 80 puntos (anexo 20). Para este caso de estudio, que es principalmente en mejorar el proceso de despulpado el principal indicador que se ve afectado es el rendimiento en tasa, ya que el físico depende más de la cosecha y calibración de la despulpadora.

Existen rangos de clasificación del rendimiento en taza del café (ver anexo 18) en el que de acuerdo a estos rangos se determina su precio, que al superar cierto valor puede aumentar su precio mucho más de lo que se cotiza en bolsa. Por ejemplo en el año 2017 un productor cajamarquino que logró el más alto puntaje de rendimiento en taza, siendo considerado un café excelente, el precio por quintal llegó a los 10 mil dólares, y otro de los casos más recientes (2018) productores peruanos lograron vender su café en 4 500 dólares por ser un café de muy buena calidad (*Diario Gestión*).

De acuerdo al Ingeniero que trabaja con los productores, con amplios conocimientos en temas de café y trabajador de la empresa Proassa (Secanor, exportadora de café), y que actualmente viene capacitando a los productores de café en diferentes asociaciones afirmó que si actualmente el puntaje en taza es de 80, mejorando solo el proceso de despulpado es posible superar los 81 puntos el cual les permitiría obtener mayores ingresos en sus ventas al ser un producto de mayor calidad. Y además agregó que mejorando sus otros procesos como es el secado y almacenado tranquilamente su producto se valoriza en un precio superior a lo que se cotiza en bolsa.

### 3.4.3. Mejora del proceso de despulpado

Al inicio se habló que principalmente se busca es mejorar el proceso del despulpado, pues en la tabla 30 se muestra un antes y un después de lo que sería el proceso de despulpado. En el diagrama de procesos (DAP) presentado en la figura 15 se presentó el tiempo que se tarda en despulpar un quintal de café, el cual dio un resultado de 123,79 minutos por quintal, es decir, 2,06 horas. Eso fue con el proceso realizado de manera manual como es lo que a vengo haciendo los productores de café.

*Tabla 30 - Mejora del proceso de despulpado*

	ANTES		AHORA	
	Cantidad	Monto	Cantidad	Monto
Mano de obra	2.06 horas	S/. 9.27	1.09 horas	S/. 4.91
Energía eléctrica	0	S/. -	0.4755	S/. 0.90
		<b>S/. 9.27</b>		<b>S/. 5.81</b>

Sin embargo, al reemplazar el proceso manual por un proceso automatizado en la que se utiliza un motor de 1 HP, suficiente para lograr el funcionamiento de la máquina; sólo se usaría 1,09 horas. La etapa clave, y/o la única que cambia es el tiempo en la parte propiamente del despulpado, ya que como se puede observar en la tabla 4 el promedio para despulpar 1 lata (14 kg) es de 5,07, pero en el caso de usarse un motor, este tiempo bajaría a 2 minutos.

El costo de mano de obra es aproximadamente de 4,5 soles la hora, y así se calculó los costos que resultaron 9,27 soles para el caso anterior en la que se incluye solo mano de obra; y 5,81 para el después en la que esta vez ya hay un consumo de electricidad pero aun así el costo disminuye en (-37%). Cabe indicar que de acuerdo a los recursos necesarios para ale funcionamiento del sistema, se estimó que el costo de producir 1 kWh de electricidad tiene un costo de 1,9 soles.

#### - Nuevos indicadores

Los únicos indicadores que cambian, de manera positiva, son la producción y la productividad de mano de obra, en cuanto a la eficiencia física viene a ser el mismo valor. El tiempo base (tb) es el mismo de la producción calculada anteriormente, sin embargo, en esta oportunidad el tiempo de

ciclo cambia, al utilizarse un motor el tiempo de despulpado por lata es de 2 minutos, entonces al despulpa 19 latas que se requiere para un quintal se requiere de 38 min.

$$\text{Producción} = \frac{\text{tiempo base (tb)}}{\text{ciclo (c)}} = \frac{435 \text{ min/día}}{38 \text{ min/quintal}} = 11,4 \text{ quintales/día}$$

$$\text{Productividad de M. O}_{\text{Despulpado}} = \frac{1,57 \frac{\text{quintales}}{\text{hora}}}{1 \text{ trabajador}} = 1,57 \text{ quintales/trabajador x hora}$$

**Antes:**

Producción: 4,51 quintales al día

Productividad de MO en el despulpado: 0,62 quintales por trabajador en una hora

**Ahora:**

Producción: 11,4 quintales al día

Productividad de MO en el despulpado: 1,57 quintales por trabajador en una hora

**3.4.3.1. Ingresos futuros sin el proyecto**

Al consultar los precios en el que los productores de café han vendido su café en los tres últimos años se pudo comprobar que el monto recibido por cada quintal era en promedio el 12% menos del precio presente en la Bolsa de New York. Entonces con este criterio se procedió a calcular los ingresos futuros, descontando el 12% a los precios futuros, si los productores siguen con sus mismas prácticas en el beneficiado del café.

**Tabla 31 - Ingresos de la asociación si continúan con sus métodos actuales**

<b>Año</b>	<b>Programa de Venta (kg)</b>	<b>Precio de Venta (S/ por quintal)</b>	<b>Total de Ingresos (S/)</b>
2018	848	S/. 337,76	S/. 286 281,14
2019	866	S/. 382,84	S/. 331 497,65
2020	886	S/. 420,84	S/. 372 736,86
2021	905	S/. 454,53	S/. 411 213,00
2022	924	S/. 493,50	S/. 455 824,25

Fuente: Futuros café C EE.UU (es.investing.com)

### 3.4.3.2. Ingresos futuros con el proyecto

Los precios del café son bastante volátiles por lo que es complejo tener un pronóstico exacto y depende del mercado mundial, es decir, es un producto comoditie. Sin embargo en [42] se publica los precios futuros del café en la Bolsa de New York, con estos precios se calculó los posibles ingresos de la asociación en los siguientes años.

*Tabla 32 - Ingresos de las Asociación Sierra Norte Minas de acuerdo a la producción y precios pronosticados*

<b>Año</b>	<b>Programa de Venta (kg)</b>	<b>Precio de Venta (S/ por quintal)</b>	<b>Total de Ingresos (S/)</b>
2018	848	S/. 379,50	S/. 321 664,20
2019	866	S/. 430,15	S/. 372 469,27
2020	886	S/. 472,85	S/. 418 805,46
2021	905	S/. 510,71	S/. 462 037,08
2022	924	S/. 554,49	S/. 512 162,08

Fuente: Futuros café C EE.UU (es.investing.com)

Por lo tanto, al comparar los valores de la tabla 31 y 32 se afirma que existe un aumento de sus ingresos en un 12% y esto gracias a que un proceso que es indispensable para la calidad final del café, el cual es el despulpado, ahora se realizaría de la manera correcta. La manera correcta se refiere a que el café cerezo que se cosecha de chacra sea despulpado el mismo día de la cosecha y no dejarlo almacenado varios días como como lo viene haciendo, ocasionado principalmente por la escasez de mano de obra para realizar este proceso.

### 3.4.4. Relación costo - beneficio

A continuación en la tabla 33 se presenta los valores del TIR, VAN y finalmente la relación C/B del presente proyecto y viene a ser uno de los puntos más importantes ya que permite tomar la decisión correcta en relación a la conveniencia de desarrollar o no el proyecto. Se observa que tanto el VAN como el TIR salen positivos el cual garantiza ingresos para la asociación al llevar a cabo este proyecto.

**Tabla 33 - Valores del TIR, VAN y C/B**

<b>TIR</b>	<b>17,34%</b>
<b>VAN</b>	<b>S/. 72 146,18</b>
<b>C/B</b>	<b>1,41</b>

Además, también se tiene la relación de costo beneficio el cual indica la cantidad que se va a ganar con respecto a lo invertido. Se obtuvo un valor de 1,41 lo que quiere decir que por cada sol invertido habrá 0,41 soles de ganancia.

Y finalmente cabe indicar que de recuperación de esta inversión será en 2 años como lo indica el flujo de caja presentada en la tabla 34.

### 3.4.5. Flujo de caja del proyecto

Es preciso aclarar que el flujo de caja para poder medir la conveniencia del proyecto se realizó con los nuevos ingresos que obtendría la asociación al llevar a cabo el proyecto. Otro de los puntos importantes es que el impuesto a la renta según la normativa peruana para el caso del sector agrícola no es del 30% sino 15%, de esta manera las instituciones del Estado buscan el desarrollo del sector en nuestro país.

Tabla 34 - Flujo de caja del proyecto

	<b>Año 0</b>	<b>1 Año</b>	<b>2 Año</b>	<b>3 Año</b>	<b>4 Año</b>	<b>5 Año</b>
<b><u>INGRESOS</u></b>		S/. 35,383.06	S/. 40,971.62	S/. 46,068.60	S/. 50,824.08	S/. 56,337.83
Venta de energía		S/. 4,675.00	S/. 4,675.00	S/. 4,675.00	S/. 4,675.00	S/. 4,675.00
Venta de abono		S/. 1,856.78	S/. 1,856.78	S/. 1,856.78	S/. 1,856.78	S/. 1,856.78
Ingresos por venta de biol		S/. 3,489.00	S/. 3,489.00	S/. 3,489.00	S/. 3,489.00	S/. 3,489.00
<b>TOTAL INGRESOS</b>		<b>S/. 45,403.84</b>	<b>S/. 50,992.40</b>	<b>S/. 56,089.38</b>	<b>S/. 60,844.86</b>	<b>S/. 66,358.61</b>
<b><u>EGRESOS</u></b>						
Mantenimiento		S/. 193.48	S/. 193.48	S/. 193.48	S/. 193.48	S/. 193.48
Costos de producción		S/. 15,243.64	S/. 15,255.50	S/. 15,273.28	S/. 15,291.06	S/. 15,302.92
Gastos administrativos		S/. 8,603.69	S/. 8,603.69	S/. 8,603.69	S/. 8,603.69	S/. 8,603.69
Intereses del préstamo		S/. 4,097.76	S/. 3,227.70	S/. 2,261.93	S/. 1,189.92	S/. -
Amortización de prestamos		S/. 7,909.66	S/. 8,779.72	S/. 9,745.49	S/. 10,817.50	S/. -
<b>TOTAL EGRESOS</b>		<b>S/. 36,048.23</b>	<b>S/. 36,060.09</b>	<b>S/. 36,077.87</b>	<b>S/. 36,095.65</b>	<b>S/. 24,100.09</b>
<b>SALDO BRUTO (Antes de impuestos)</b>		<b>S/. 9,355.61</b>	<b>S/. 14,932.31</b>	<b>S/. 20,011.51</b>	<b>S/. 24,749.20</b>	<b>S/. 42,258.52</b>
<b>Impuesto a la renta</b>		<b>S/. 1,403.34</b>	<b>S/. 2,239.85</b>	<b>S/. 3,001.73</b>	<b>S/. 3,712.38</b>	<b>S/. 6,338.78</b>
<b>SALDO (Deficit/Superavit)</b>		<b>S/. 7,952.27</b>	<b>S/. 12,692.47</b>	<b>S/. 17,009.78</b>	<b>S/. 21,036.82</b>	<b>S/. 35,919.74</b>
<b>UTILIDAD ACUMULADA</b>	<b>S/. -28,403.58</b>	<b>S/. -20,451.31</b>	<b>S/. -7,758.84</b>	<b>S/. 9,250.94</b>	<b>S/. 30,287.76</b>	<b>S/. 66,207.51</b>

### **3.4.6. Beneficio ambiental**

Actualmente en todo estudio, investigación, proyecto, etc. siempre está presente el tema medio ambiental ya que debido a la incontrollable utilización de recursos naturales, consecuencia de un consumismo realmente preocupante en la sociedad, y la abundante generación de basura que generalmente son arrojados al medio sin un tratamiento previo, ha motivado a los diferentes gobiernos, instituciones, organización públicas y privadas a que el cuidado del medio ambiente sea algo prioritario en el desarrollo de cualquier proyecto.

Por tal motivo, en el presente estudio se analizó mediante la Matriz de Leopold el impacto ambiental que actualmente existe en la Asociación Sierra Norte Minas; y a continuación nuevamente se hace uso de esta herramienta para realizar otro análisis del impacto ambiental, pero en este caso con una probable implementación del sistema de producción de biogás.

#### **3.4.6.1. Evaluación del impacto ambiental a través de la matriz de Leopold**

A continuación se detalla cómo se sería la nueva valoración de los factores ambientales impactados según las actividades realizadas para el beneficiado húmedo del café en la Asociación Sierra Norte Minas, esta evaluación se encuentra en la figura 29.

##### **- Sistema medio físico**

En el **componente ambiental de aire**, el impacto a este medio de acuerdo a lo calculado en la Matriz de Leopold, bajaría de  $-100$  a un valor de  $-84$  como se observa en la figura 29.

En el **componente ambiental del suelo**, en cuanto al impacto de este componente es muy favorable, ya que se tendría una disminución del impacto negativo de  $-170$  a un valor de  $-86$ .

En el **componente ambiental del agua**, se evaluó tres factores, *turbidez del agua*, *aguas residuales*, y *el consumo de agua*. En la Matriz de Leopold se observa como valor al agua de  $-127$ , siendo este también un impacto negativo. Para este componente el factor con mayor impacto negativo es el de aguas residuales con una valor de  $-46$  y esto se debe principalmente al proceso de lavado que requiere de una considerable cantidad de agua, si bien es cierto la existencia de este recurso en el lugar es buena, sin embargo no todos se benefician por igual.



Por lo tanto, el impacto total que disminuye al realizarle el proyecto es de  $-520$  (véase figura 20) a  $-362$  mostrada en la figura 29, es decir, el impacto negativo baja en un valor de 158. La actividad que más cambio ha tenido es sin duda la disposición de los residuos orgánicos por la naturaleza misma del proyecto de estudio.

En cuanto a la disposición de residuos sólidos orgánicos, el cual era la actividad que más impacto negativo tiene en la Asociación Sierra Norte Minas, con la aplicación del proyecto este impacto negativo de  $-187$  (Figura 20) baja a  $-15$  y es por el hecho de que los residuos sólidos son aprovechados para producir biogás.

Por otro lado, ahora la actividad con más impacto negativo viene a ser la disposición de las aguas residuales que provienen del lavado del café despulpado, si bien es cierto ha bajado el impacto de  $-178$  a  $-128$ , sigue siendo el más negativo; las razones que el impacto del agua disminuye se debe a que el agua que se necesita para la digestión anaerobia de la pulpa no será agua limpia, sino se aprovecharán las aguas del lavado del café.

Finalmente es importante mencionar que al darse el proyecto aparecen nuevas actividades que de alguna u otra manera también generan un impacto pero menor a las demás actividades. Estas nuevas actividades principalmente son la fermentación anaerobia de la pulpa de café de los biodigestores, el almacenamiento del biogás y el generador eléctrico, en la Figura 29 se muestran estas nuevas actividades.

#### IV. CONCLUSIONES

- En la Asociación Sierra Norte Minas, del proceso de despulpado el 42% del café cerezo cosechado se convierten en residuos. Con la producción del año 2017 se logró estimar que es posible producir 1 665,05 m<sup>3</sup> de biogás equivalente a 9 308,37 kWh de electricidad. Esta cantidad de energía es suficiente para cubrir a un motor eléctrico capaz de realizar el proceso de despulpado y de esta manera reemplazar el proceso manual y su escasa mano de obra.
- Con la propuesta del diseño de sistema de generación de energía eléctrica con la pulpa de café, se mejora el proceso de despulpado disminuyendo el tiempo en un 47%, así como, bajando el costo de este proceso en un 37% por cada quintal producido, el cual esto (disminución del tiempo) conlleva a mejorar la calidad del producto, lo que actualmente su rendimiento en tasa está 80 puntos, este pasaría a pasar a otro rango mejor ubicado, el cual supera los 81 puntos y el precio del producto es mayor (hasta +12%).
- La Asociación Sierra Norte Minas ubicado en Cajamarca cuenta con 36 ha de cultivo de café (de una misma variedad) distribuidas en 24 productores, en donde el café cerezo al entrar en el proceso de despulpado descartan el 42% que viene a ser la pulpa de café (residuos) el cual es arrojado sin algún tratamiento previo afectando negativamente al ambiente.
- La pulpa de café de la Asociación Sierra Norte Minas tiene las siguientes características: pH: 4,01; humedad: 82,52%; relación C/N 21,52; cenizas: 13,22% y la materia orgánica volátil 4,26%. Estos valores permitieron calcular la cantidad posible de energía a producirse.
- El costo del proceso de despulpado disminuye en 37%, esto debido principalmente a la mano de obra. Para despulpar 1 quintal de café hacía falta emplear 2,06 horas a un trabajador, y con la propuesta, utilizando el motor eléctrico este tiempo disminuiría a 1,09 horas (- 47%) pero se agregaría el costo de electricidad, sin embargo aun así el costo de despulpar un quintal es más bajo; el costo del antes y el después es de 9,27 y 5,81 soles respectivamente. Finalmente, con la valorización de los residuos disminuye el impacto ambiental negativo ya que se aprovecha gran parte del agua de lavado y principalmente la pulpa de café al ser aprovechado y no vertido al ambiente, el impacto negativo baja de -520 a - 362, lo cual es muy favorable para la sociedad en general.

## **V. RECOMENDACIONES**

- Analizar la posibilidad de aprovechar otros residuos agrícolas del lugar para la generación de energías renovables en beneficio de la comunidad.
- Promover en que se debe tomar mayor interés al proceso beneficiado de su café ya que es donde el impacto es mayor en cuanto a la calidad del producto final, si bien es cierto el en el beneficiado la etapa principal es el despulpado, pero también se debe mejorar sus métodos de lavado y secado.
- Al generarse energía más de lo que actualmente o de lo que se usaría en el proceso de despulpado, la Asociación Sierra Norte Minas debe evaluar de mejorar su tecnología de secado en la que se puede hacer uso también electricidad, y de esta manera mejorar aún más su producto.

## VI. LISTA DE REFERENCIAS

- [1] Fondo Nacional de Investigaciones Agropecuarias, *Paquete tecnológico para la producción de café*, Maracay, 1988.
- [2] J. Cahuapaza, «Infocafés,» 21 Junio 2016. [En línea]. Available: <http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/08/CAFE-ORGANICO-HISTORIA-CONTEXTO-Y-PERSPECTIVAS-JNC-.pdf>. [Último acceso: 15 Mayo 2017].
- [3] R. Romero y M. Renzo, «Obtención de biogás como fuente de energía renovable a partir de los subproductos del café,» *Investigación Altoandina*, vol. 15, n° 2, pp. 241 - 252, 2013.
- [4] L. Cepero, V. Savran, D. Blanco, M. R. Díaz, J. Suárez y A. Palacios, «Producción de biogás y bioabonos a partir de efluentes de biodigestores.,» *Pastos y Forrajes*, vol. 35, n° 2, pp. 219 - 226, 2012.
- [5] G. Corro, L. Paniagua, P. Umapada, F. Bañuelos and M. Rosas, "Generation of biogas from coffe - pulp and cow - dung co - digestion: Infrared studies of postcombustion emissions.," *Energy Conversion and Management*, vol. 74, pp. 471 - 481, 2013.
- [6] I. Vera, M. Estrada, J. Martinez y A. Ortiz, «Potencial de generación de biogás y energía eléctrica Parte I: Excretas de ganado bovino y porcino.,» *Ingeniería, Investigación y Tecnología* , vol. 15, n° 3, pp. 429 - 436, 2014.
- [7] I. Dioha, C. Ikeme, T. Nafi'u, N. Soba and M. Yusuf, "Effect of carbon to nitrogen ratio on biogas production," *International Research Journal of Natural Sciences*, vol. 1, no. 3, pp. 1 - 10, 2013.
- [8] A. Pandey, C. Soccol, P. Nigam, D. Brand, R. Mohan and S. Roussos, "Biotechnological potencial of coffe pulp and husk for bioprocesses," *Biochemical Engineering Journal*, vol. 6, pp. 153 - 162, 2000.
- [9] N. Rodríguez, *Procesamiento del café en colombia y uso actual de los subproductos*, Colombia: Centro Nacional de Investigaciones de Café, 2012.
- [10] Asociación Nacional del Café, «Caficultura, el beneficiado húmedo,» 14 Octubre 2011. [En línea]. Available: [http://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura\\_BeneficiadoHumedo](http://www.anacafe.org/glifos/index.php/Caficultura_BeneficiadoHumedo). [Último acceso: 08 Junio 2017].
- [11] Ministerio de Salud, Ley N° 27214 - Ley General de Residuos Sólidos, Lima, 2008.
- [12] P. Navarro, H. Moral, L. Gómez y B. Mataix, *Residuos orgánicos y agricultura*, España, 1995.
- [13] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura - FAO, *Manual de Biogás*, Santiago de Chile, 2011.
- [14] M. Camps y M. Fransisco, *Los biocombustibles. Energías Renovables*, España: Mundi - Prensa, 2008.

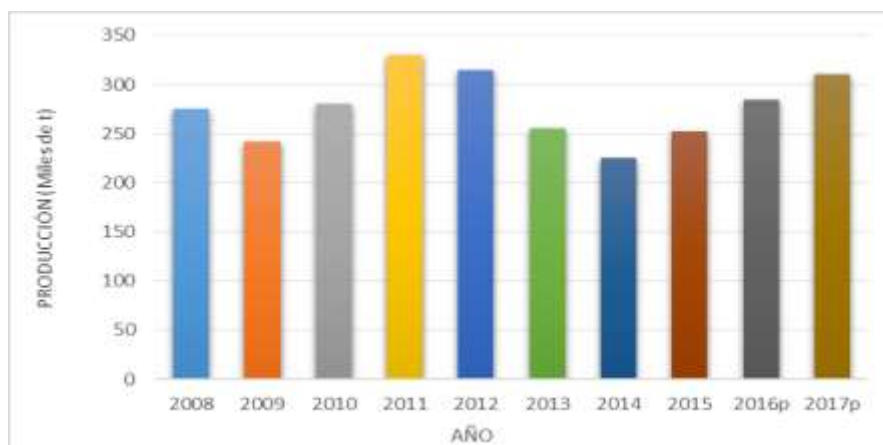
- [15] D. Deublein and A. Steinhauser, *Biogas from waste and renewable resources: An Introduction*, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co KGaA, 2008.
- [16] B. Lagrange, «Biomethane. Principes, Techniques, Utilisation,» *Energies Alternatives*, vol. 2, p. 269, 1979.
- [17] J. Hilbert y J. Eppel, *Desafíos y Estrategias para implementar la Digestión Anaeróbica en los Agrosistemas*, Argentina, 2007.
- [18] R. Paredes y M. Baca, «Generación de energía con biogás de residuos agrícolas en plantas agroindustriales La Libertad - Perú,» *Energy Track*, n° 015, 2005.
- [19] Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires, *Técnicas energéticas, aplicaciones del biogás*, Argentina, 2007.
- [20] CAT, «Generadores para la industria agrícola,» Caterpillar, [En línea]. Available: [https://www.cat.com/es\\_MX/by-industry/electric-power-generation/electric-power-industries/agriculture.html](https://www.cat.com/es_MX/by-industry/electric-power-generation/electric-power-industries/agriculture.html). [Último acceso: 11 15 2018].
- [21] M. R. Mete, «Valor Actual Neto y Tasa de Retorno: Su Utilidad como Herramientas para el Análisis y Evaluación de Proyectos de Inversión,» *Fides et Ratio*, vol. 7, pp. 67 - 85, 2014.
- [22] L. B. Salazar, «Regresión Lineal o Mínimos Cuadrados,» 2016. [En línea]. Available: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/herramientas-para-el-ingeniero-industrial/pron%C3%B3stico-de-ventas/regresi%C3%B3n-lineal/>. [Último acceso: octubre 15 2018].
- [23] Universidad Nacional Rio Negro, «Evaluación de Impacto Ambiental,» 2013. [En línea]. Available: <http://unrn.edu.ar/blogs/matematica1/files/2013/04/5%C2%B0-Matriz-de-Leopold-con-plantilla.pdf>. [Último acceso: 1 Abril 2018].
- [24] M. d. R. Alfaro y J. Rodríguez, «Impacto ambiental del procesamiento del café en Costa Rica,» *Agronomía Costarricense*, vol. VIII, n° 2, pp. 217 - 225, 1994.
- [25] P. Noarys, R. Catillo, L. Carballo y J. Veliz, «Impacto ambiental en el cultivo y procesamiento del café y su repercusión social,» Universidad de Pinar del Río, Cuba, 2014.
- [26] S. C. Pinto Arroyo, «Valoración de impactos ambientales,» Diciembre 2007. [En línea]. Available: [http://api.eoi.es/api\\_v1\\_dev.php/fedora/asset/eoi:48150/componente48148.pdf](http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:48150/componente48148.pdf). [Último acceso: 25 Agosto 2018].
- [27] VIOGAZ, COCAFELOL, ARUC, SNV, ECPA, «Generación de electricidad a partir de biogás en Honduras,» 26 Mayo 2014. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=Yv7IJUxdqbc&t=316s>. [Último acceso: 15 Octubre 2018].
- [28] Oficina de Estudios y Políticas Agrarias (ODEPA), «Estudio para la evaluación socioeconómica y ambiental de tres prototipos de biodigestores en predios de pequeños productores lecheros,» Ingeniería Alemana S.A, Santiago de Chile, 2009.

- [29] SNV - WORLD, «Implementación de Sistemas de Biodigestión en Ecoempresas,» 2012. [En línea]. Available: <http://nebula.wsimg.com/c124319bf4efff857485ba22c79176c5?-AccessKeyId=11F7CE3E4517D29E4C81&disposition=0&alloworigin=1>. [Último acceso: 01 Noviembre 2017].
- [30] L. A. Rodríguez Perdígón, «Viabilidad técnica para producción de biogás a partir de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos - FORSU, tesis de especialización,» Setiembre 2014. [En línea]. Available: <http://repository.ean.edu.co/bitstream/handle/10882/1560/RodriguezLuis2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. [Último acceso: 01 Noviembre 2017].
- [31] Hivos, SNV Y Soluciones prácticas, «Plan del Programa Nacional de Biodigestores del Perú,» 2013. [En línea]. Available: [http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2013\\_PNB\\_Peru\\_Plan.pdf](http://beegroup-cimne.com/kt-content/uploads/2017/02/2013_PNB_Peru_Plan.pdf). [Último acceso: 01 Noviembre 2017].
- [32] J. C. Guailupo Príncipe, «Gestión de residuos orgánicos en el restaurante el Mesón - Santa Anita para la producción de biogás, tesis de licenciatura,» Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, 2017.
- [33] Soluciones Prácticas, «Ficha técnica N°8: Biodigestores,» Lima, 2009.
- [34] C. Guazzaroni , «Biodigestor Casero,» Espacio de César, 22 Junio 2007. [En línea]. Available: <https://espaciodesesar.com/2007/06/22/biodigestor-casero/>. [Último acceso: 27 Abril 2018].
- [35] D. García Bartra y S. Galluser Jacquat, «EVALUACIÓN DE LA CANTIDAD DE AGUA UTILIZADA POR KILOGRAMO DE CAFÉ PERGAMINO SECO EN CUATRO MÉTODOS DE BENEFICIO HÚMEDO DE CAFÉ, EN LAS PROVINCIAS DE MOYOBAMBA Y RIOJA,» 2015. [En línea]. Available: [http://www.ceincafe.org.pe/sites/default/files/recursos/archivos/pdf/dgarciasgalluser\\_solidaridad.pdf](http://www.ceincafe.org.pe/sites/default/files/recursos/archivos/pdf/dgarciasgalluser_solidaridad.pdf). [Último acceso: 30 Agosto 2015].
- [36] N. Rodríguez Valencia, J. R. Sanz Uribe, C. E. Oliveros Tascón y C. A. Ramírez Gómez, «Beneficio del café en Colombia,» 2015. [En línea]. Available: [https://www.cenicafe.org/es/publications/Final\\_libro\\_Beneficio\\_isbn.pdf](https://www.cenicafe.org/es/publications/Final_libro_Beneficio_isbn.pdf). [Último acceso: 30 Agosto 2015].
- [37] H. Londoño, «Aprovechamiento de pulpa de café para la producción de biogás en un reactor flujo pistón,» Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, 2017.
- [38] Unide de Planeación Minero Energética, «Guía para la implementación de un sistemas de producción de biogás,» Marzo 2003. [En línea]. Available: [http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias\\_alternativas/normalizacion/GUIA\\_PARA\\_LA\\_IMPLEMENTACION\\_DE\\_SISTEMAS\\_DE\\_PRODUCCION\\_DE\\_BIO.pdf](http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/energias_alternativas/normalizacion/GUIA_PARA_LA_IMPLEMENTACION_DE_SISTEMAS_DE_PRODUCCION_DE_BIO.pdf). [Último acceso: 27 Abril 2018].

- [39] J. Viquez, «Rendimiento de la producción de metano a partir de pulpa de café y mucílago de café (coffea arabica),» *Revista UTN Informa Sector Agropecuario*, n° 68, pp. 16 - 21, 2014.
- [40] E. F. Morales Blancas, *Poder calorífico de combustibles*, Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- [41] J. Acuña J., «Curso sobre Generadores. Montaje, Instalación; Mantenimiento y Reparación.,» *Plantas Eléctricas*, 2017. [En línea]. Available: <https://www.stmeu.com/mantenimientos-y-reparaciones/rendimiento-en-los-generadores-electricos/>. [Último acceso: 11 Octubre 2018].
- [42] Investing, «Futuros Café C EE.UU.,» 15 Octubre 2018. [En línea]. Available: <https://es.investing.com/commodities/us-coffee-c>. [Último acceso: 15 Octubre 2018].

## VII. ANEXOS

### Anexo 1 - Producción de café en el Perú de los últimos años (miles de toneladas)



Fuente: MINAGRI. p: Proyectado SBP

### Anexo 2 - Encuesta y su validación, de que fue aplicada a los productores de café de la Asociación



#### Diagnóstico del proceso productivo de beneficiado de café Asociación Sierra Norte Minas

Mediante el presente cuestionario, queremos recopilar información para conocer la situación actual, centrándose en el proceso de despulpado, de los productores de café de la Asociación Sierra Norte Minas, ubicada en el distrito de Querocotillo, en la provincia de Cutervo, en Cajamarca.

#### I. Aspectos generales

- Nombre \_\_\_\_\_
- Edad: \_\_\_\_\_
- Nº de miembros de la familia: \_\_\_\_\_

#### INSTRUCCIONES:

Lea detenidamente cada pregunta, luego marque con una equis dentro del paréntesis (X), la respuesta que considere más adecuada.

#### II. Aspectos económicos

- Los ingresos de la familia depende principalmente de:
  - Productos agrícolas
  - Productos Pecuarios
  - Jornal de trabajo de forma independiente
  - Productos artesanales
  - Otros, especificar \_\_\_\_\_
- ¿Cuáles son sus ingresos mensuales aproximadamente?
  - 0 – S/. 400
  - 401 – S/. 800
  - 801 – S/. 1300
  - 1301 – S/. 2000
  - Mas de S/. 2000

- Cuenta con servicios básicos de: ( puede marcar más de uno)

- Agua
- Electricidad
- Desagüe
- Letrina
- Pozo ciego

#### III. Aspectos agrícolas

- ¿Qué actividades agrícolas tiene usted?
  - Café
  - Menestras
  - Maiz
  - Tubérculos
  - Plátano
  - Otros, especificar \_\_\_\_\_
- ¿Cuántas hectáreas de cultivo de café tiene?
 

\_\_\_\_\_ ha
- ¿Qué tipo de producción realiza en sus cultivos?
  - Orgánico
  - Convencional

10. ¿Qué tipo o variedad de café cultiva?

- Arábica  
 Robusta  
 Ibérica  
 Otro, especificar \_\_\_\_\_

11. ¿Cuántos quintales de café cosechó este año (2017)? \_\_\_\_\_

#### IV. Proceso de despulpado

12. ¿Cuenta con máquina despulpadora?  
¿Cuántas?

- Sí \_\_\_\_\_ Pase a la pregunta 14  
 No

13. ¿Cómo despulpa el café?

- Presta despulpadora  
 Alquila despulpadora  
 Vende el café sin despulpar

14. El proceso de despulpado lo lleva a cabo en:

- El campo  
 Casa  
 Otro \_\_\_\_\_

15. ¿Qué hace con la pulpa obtenida en el proceso de despulpado?

- Nada (se queda en el lugar del ~~despulpado~~)  
 Botar al campo  
 Realizar abono orgánico  
 Otro, especificar \_\_\_\_\_

16. ¿Qué problemas le ocasiona la acumulación de la pulpa de café?

Problema	Nada	Poco	Regular	Mucho
Afecta a las plantaciones de los alrededores				
Atrae insectos molestosos				
A afectado la salud de Ud. o la de su familia				
Afecta a las aguas cercanas				
Desagradable caminar por encima				
Genera lodos e impide la utilización del lugar en el que se encuentra				
Presencia de olores				

17. Si hubiera una máquina de despulpado automático. ¿Estaría interesado en utilizarla?

- Sí  No

18. Si hubiese un lugar en el que se realice el proceso de despulpado de manera automática, ¿Qué lugar prefiere?

- Minas  
 Santa Rosa de Minas  
 Otro \_\_\_\_\_  
 Ninguno

19. ¿Conoce Ud. sobre alguna alternativa de aprovechamiento de la pulpa de café?

- Sí, ¿Cuáles?  No  
 Hacer bono orgánico  
 Producir biogás  
 Producir electricidad  
 Otro \_\_\_\_\_

20. ¿Estaría Ud. dispuesto a apoyar en la aplicación de un sistema de aprovechamiento de la pulpa de café para generar electricidad?

- Sí  Tal vez  No

¡GRACIAS POR SU COLABORACIÓN!



VALIDACIÓN DE ENCUESTA

Quien suscribe Maximiliano Pizarro con Título Profesional de Ing. Forestal y con Maestría en SGTH y Doctorado en Ecología, Conservación y Manejo a través de la presente, manifiesto que he validado el modelo de cuestionario, diseñado por RONY MILER FERNÁNDEZ FRÍAS identificado con DNI N° 71967352. Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, del trabajo de Tesis Títulado "Propuesta de producción de biogás a partir de la pulpa de café para la generación de energía eléctrica para el proceso de despulpado en la asociación sierra norte minas"

1. Pertinencia de las preguntas con los objetivos de la investigación  
Suficiente  Medianamente Suficiente  Insuficiente

Observaciones  
Compro algunos problemas (variables) y formular.

2. Pertinencia de las preguntas con la(s) variable(s).  
Suficiente  Medianamente Suficiente  Insuficiente

Observaciones  
[Redacted]



VALIDACIÓN DE ENCUESTA

Quien suscribe Fabio Adolfo Melvira Avendaño con Título Profesional de Ing. Químico y con Maestría en Ing. Ambiental y Doctorado en [Redacted] a través de la presente, manifiesto que he validado el modelo de cuestionario, diseñado por RONY MILER FERNÁNDEZ FRÍAS identificado con DNI N° 71967352. Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, del trabajo de Tesis Títulado "Propuesta de producción de biogás a partir de la pulpa de café para la generación de energía eléctrica para el proceso de despulpado en la asociación sierra norte minas"

1. Pertinencia de las preguntas con los objetivos de la investigación  
Suficiente  Medianamente Suficiente  Insuficiente

Observaciones  
Agregar en la encuesta si el interesado tiene un registro de consumo y costo energético

2. Pertinencia de las preguntas con la(s) variable(s).  
Suficiente  Medianamente Suficiente  Insuficiente

Observaciones  
Se puede mejorar la redacción

### VALIDACIÓN DE ENCUESTA

Quien suscribe: Diana Pache Ojeda con Título Profesional de Ingeniera Agrónoma y con Maestría en Proyectos de Inversión Doctorado en \_\_\_\_\_ a través de la presente, manifiesto que he validado el modelo de cuestionario, diseñado por RONY MILER FERNÁNDEZ FRIAS identificado con DNI N° 71967302, Estudiante de Ingeniería Industrial de la Universidad Católica Santo Toribio de Mogrovejo, del trabajo de Tesis Titled "Propuesta de producción de biogás a partir de la pulpa de café para la generación de energía eléctrica para el proceso de despulpa en la asociación sierra norte minas".

1. Pertinencia de las preguntas con los objetivos de la investigación:

Suficiente:  Medianamente Suficiente:  Insuficiente:

Observaciones:

---

---

---

2. Pertinencia de las preguntas con la(s) variable(s):

Suficiente:  Medianamente Suficiente:  Insuficiente:

Observaciones:

---

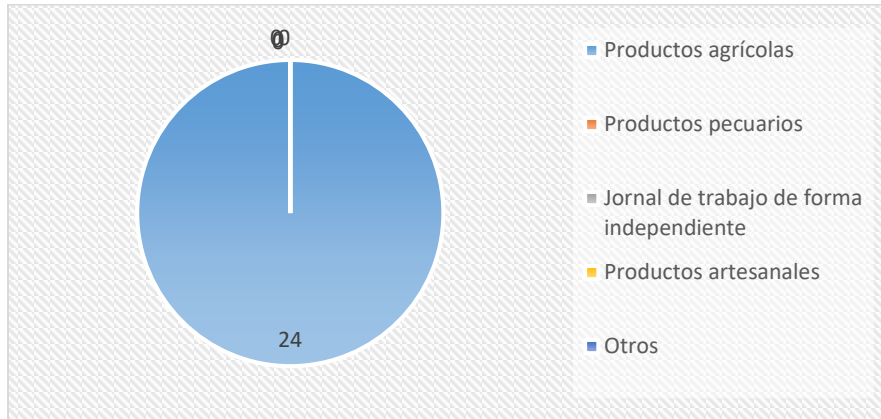
---

---

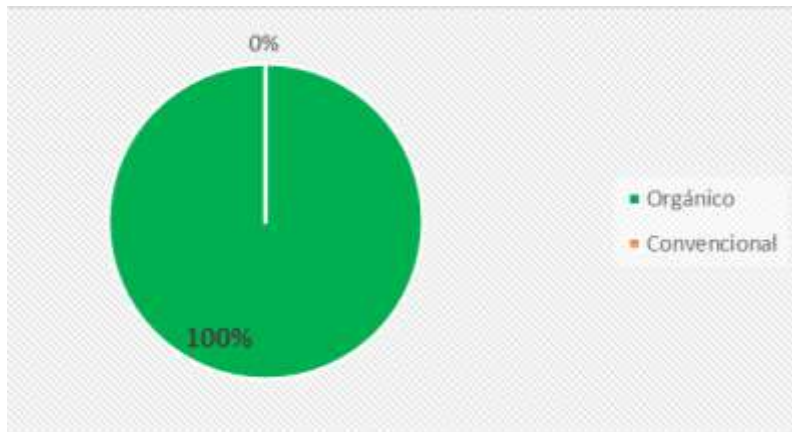
Anexo 3 - Relación de los 24 integrantes de la Asociación Sierra Norte Minas

	<b>Productores</b>	<b>DNI</b>
<b>1</b>	CALDERON MALDONADO, URBANO	27263756
<b>2</b>	CAYAO VEGA, VÍCTOR	
<b>3</b>	CHUQUE VEGA, MARIO	27261424
<b>4</b>	CORRALES BRAVO, SEGUNDO	27280495
<b>5</b>	FERNÁNDEZ CUBAS, JOSÉ DAMASTOR	41027897
<b>6</b>	FERNÁNDEZ CUBAS, REINERIO	27259828
<b>7</b>	FERNÁNDEZ CUBAS, SANTIAGO	27263357
<b>8</b>	FERNÁNDEZ CUBAS, TEÓFILO	27261376
<b>9</b>	FERNÁNDEZ ROJAS, LEONCIO	27263259
<b>10</b>	FRÍAS CUBAS, ANGEL	27261376
	<b>Productores</b>	<b>DNI</b>
<b>11</b>	FRÍAS CUBAS, DAMIÁN	27259844
<b>12</b>	FRÍAS CUBAS, GUMERCINDO	42590404
<b>13</b>	FRÍAS CUBAS, PRÓSPERO	
<b>14</b>	HEREDIA ROJAS, SILVERIO	27063805
<b>15</b>	HEREDIA SÁNCHEZ, TEOBALDO	40983829
<b>16</b>	HEREDIA SANTACRUZ, CRESENCIO	27262279
<b>17</b>	PÉREZ ENCALADA, BENJAMÍN	40296040
<b>18</b>	QUINTOS VARGAS, VÍCTOR RAÚL	27260275
<b>19</b>	RAMIREZ ROJAS, ALEX ABEL	42590398
<b>20</b>	ROJAS SÁNCHEZ, GULBERTO	27263826
<b>21</b>	SAAVEDRA ÁLVAREZ, LEONARDO	27262044
<b>22</b>	SÁNCHEZ CONSTANTINO, JUAN	27260333
<b>23</b>	SANTACRUZ HEREDIA, ANGEL	27263148
<b>24</b>	TORRES FERNÁNDEZ, AGUSTÍN	27292471

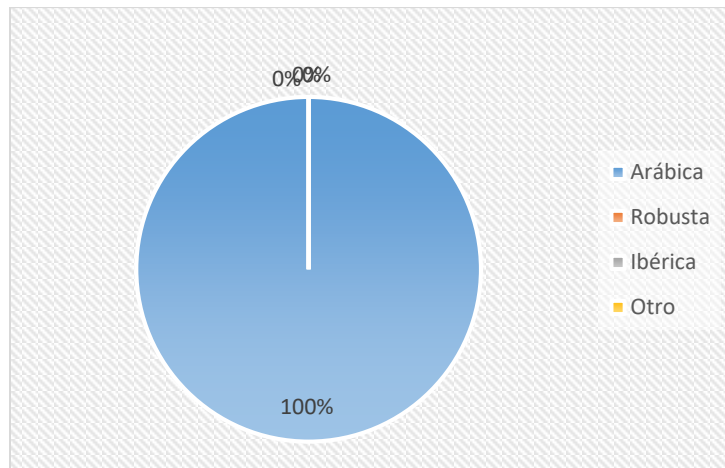
#### Anexo 4 - Fuentes de ingresos de las familias productoras de café



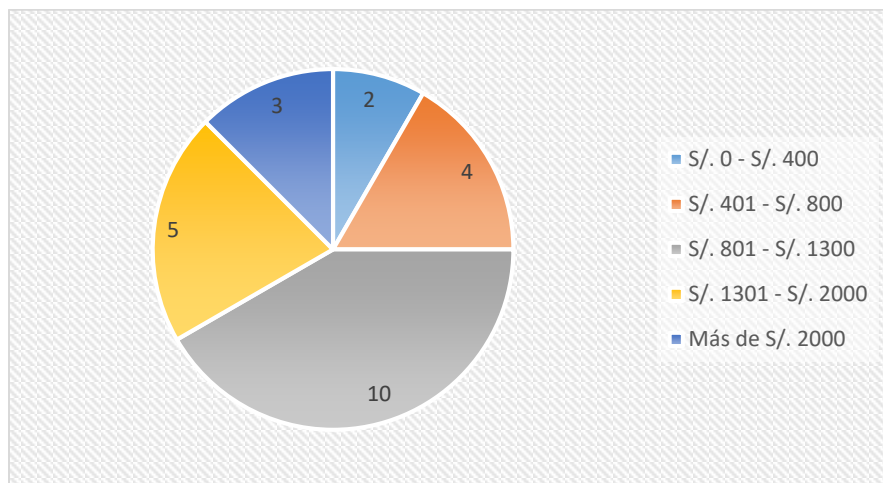
Anexo 5 - Tipo de producción agrícola del café



Anexo 6 - Especie de café que se cultiva



Anexo 7 - Ingresos mensuales estimado de los productores de café



Anexo 8 - Integrantes de la Asociación en reunión

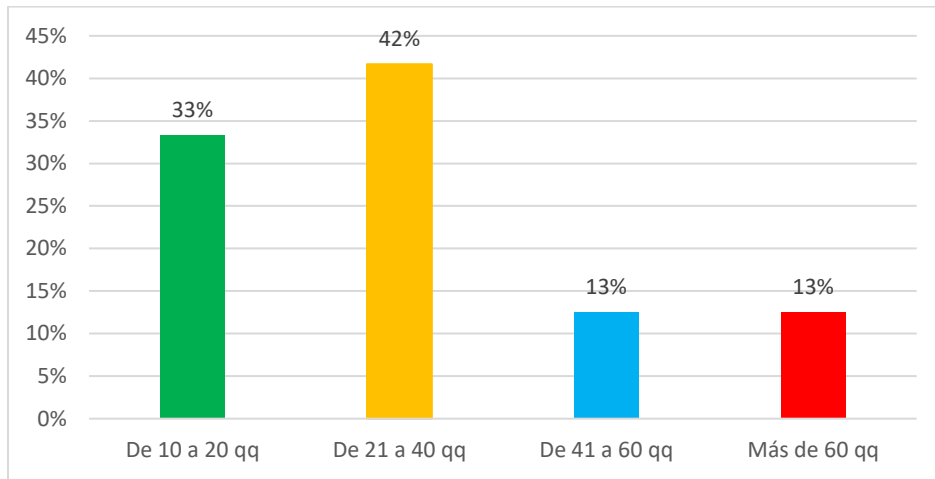


Fuente: Asociación Sierra Norte Minas

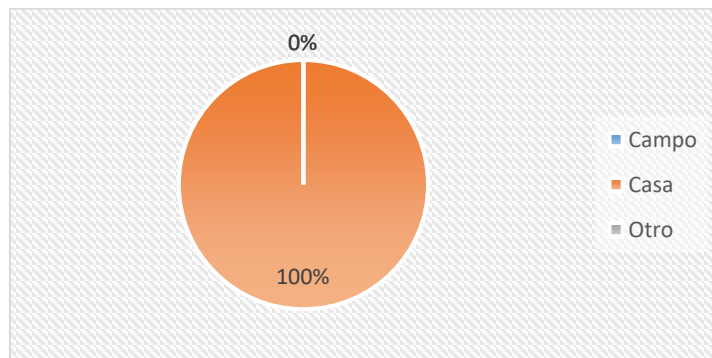
Anexo 9 - Capacitación técnica a productores de café de la Asociación Sierra Norte Minas



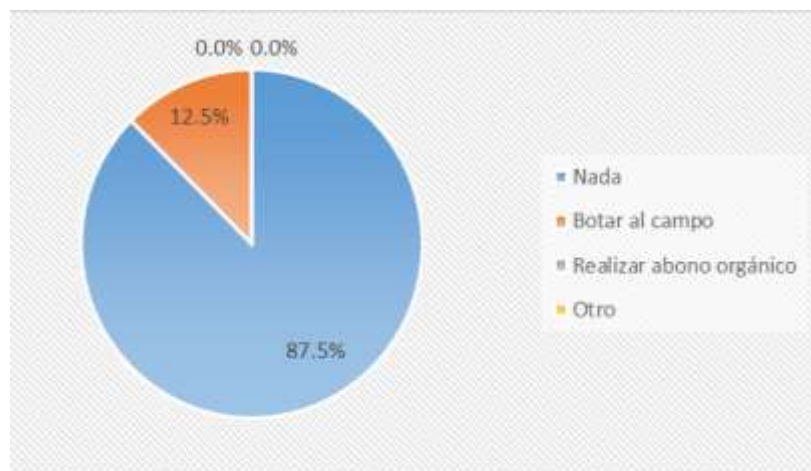
Anexo 10 - Cantidad de café cosechado en quintales (QQ)



Anexo 11 - Lugar en el que realizan el despulpado



Anexo 12 - Disposición de la pulpa de café en la Asociación



## Anexo 13 - Informe de análisis de la pulpa de café



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : RONY MILER FERNANDEZ FRIAS  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA/ CUTERVO/ QUEROCOTILLO  
MUESTRA : PULPA DE CAFÉ  
REFERENCIA : H.R. 60918  
BOLETA : 881  
FECHA : 23/10/2017

N. Lab.	CLAVE DE CAMPO	pH	Hd %	Relación C/N	Cenizas %
8183		4.01	82.52	21.52	13.22

  
Betsy García Bendezu  
Jefa de Laboratorio

Anexo 14 - Especificaciones técnicas del generador eléctrico Generac Guardian Series™ 5518

Capacidad nominal máxima de potencia continua (LP).	8 kW
Capacidad nominal máxima de potencia continua (NG).	7 kW
Tensión nominal.	120/240
Corriente de carga continua máxima nominal 240 voltios.	33.3 LP/29.2 NG
Distorsión armónica total.	Menos de 5%
Interruptor de línea principal	35 Amp
Fase	1
Número de polos del rotor	2
Frecuencia de CA nominal	60 Hz
Factor de potencia	1
Requisito de batería (no incluido)	Grupo 26R
	12 voltios y
	350 de arranque en frío
	Amperios Mínimo
Unidad de peso	340 libras
Dimensiones (L "x W" x H ")	48 x 25 x 29
Salida de sonido en dB (A) a 23 pies con el generador funcionando a carga normal	62

Fuente: Electric Generators Direct, Edipesa

## Anexo 15 - Cotización del generador eléctrico a partir de biogás

The screenshot shows the Edipesa website interface. At the top, there is a search bar and social media icons for Facebook, YouTube, LinkedIn, and Google+. Below the navigation bar, the product page for 'GENERAC Generador 5518' is displayed. The product image shows a white generator with 'GLP / GNV' printed on its side. To the right of the image, the product name 'GENERAC Generador 5518' and SKU '791' are listed. The price is shown as 'S/ 9,340.00 (Precio Referencial)'. There is also a 'Ver más Generación' button and a 'Haz una pregunta sobre este producto' button at the bottom.

Fuente: Edipesa

## Anexo 16 - Motor de 1 HP para la despulpadora

The screenshot shows the Sodimac website product page for a 'Motor eléctrico 1 HP MyH'. The product image is a blue and black electric motor. The price is '\$99.990 CIU'. Below the price, there is a 'Cantidad' section with a red 'Agregar al carro' button. A financing table is also present:

Calcula el valor de tu cuota CMR	N° de cuotas	Valor cuotas
Costo Total Crédito: \$99.990 CAE: 0.00%	1	\$ 99.990

Below the table, there is a 'Disponibilidad y métodos de entrega' section with three options: 'Disponible para despacho a domicilio', 'No disponible para retiro en la tienda seleccionada', and 'Stock disponible en tienda'. Each option has a corresponding button: 'Simular costo de despacho', 'Ver tiendas disponibles', and 'Ver stock'.

Fuente: Sodimac

## Anexo 17 - Cotización de los biodigestores y el gasómetro



Av. Pedro Mota 914  
S.J. de Miraflores - Lima 29  
Tel: 6178767 Fax: 6178700

Señores  
Asociacion de Productores Agropecuarios  
Cajamarca

COTIZACION N°  
CAT-06 496/2018

Fecha: 27/06/2018

Atencion: Sr. Rony Fernandez

Item	Cant.	Descripción	Unid	P. Parcial US\$	Total US\$
		<b>DESCRIPCION</b>			
1	2	<u>Deltabiodigestor, fabricado en geomembrana de PVC de 1.0 mm de grosor</u> Para un volumen de 80 M3, de 2.55m de diámetro X 15.70m de longitud Geomembrana de PCV de 1.0mm color negro. Tendrá dos tapas del mismo material en los extremos y puede tener forma circular o trapezoidal según se decida el diseño. En cada de una de estas tapas se colocaran selladas por alta frecuencia una manga de geomembrana PVC para instalar tuberías sanitarias de 4" diámetro Volumen Total: 80m3 Produccion de biol: 1.5m3/día con un TRH de 45 días	Und.	\$3,800.00	\$7,600.00
2	1	Gasometro o reservorio de biol fabricado en geomembrana de PVC bicapa de color Gris/ negro, de 1.0mm de grosor. De forma cilíndrica, con tapas de la misma calidad En una de estas tapas se colocará un niple roscado de PVC de 1" de diametro, para ser usado como ingreso y salida del biogas.	Und.	\$760.00	\$760.00
		EXPRESADO EN DOLARES AMERICANOS			
				<b>Sub - Total:</b>	<b>\$8,360.00</b>
				<b>IGV 18%</b>	<b>\$1,504.80</b>
				<b>TOTAL:</b>	<b>\$9,864.80</b>

**T. de Entrega:** Fabricacion en 3 semanas despues de recibido Adelanto

**Forma de Pago:** 50% de adelanto, saldo antes del despacho

**Validez de Oferta:** 05 días

**Lugar de entrega:** En Agencia de Transportes que elija el cliente. Pago en Destino

**Cuentas Corrientes de Comercial Industrial Delta S.A. - CIDELSA**

**BBVA Dólares:** 0910 - 0100022734

**BCP Dólares:** 19220059147153

## Anexo 18 - Precios futuros del café

Año	Dólares (Bolsa de New York)	Soles (Precio en bolsa)		
2018	\$ 115.00	3.3	S/.	379.50
2019	\$ 129.18	3.33	S/.	430.15
2020	\$ 141.15	3.35	S/.	472.85
2021	\$ 152.45	3.35	S/.	510.71
2022	\$ 165.52	3.35	S/.	554.49

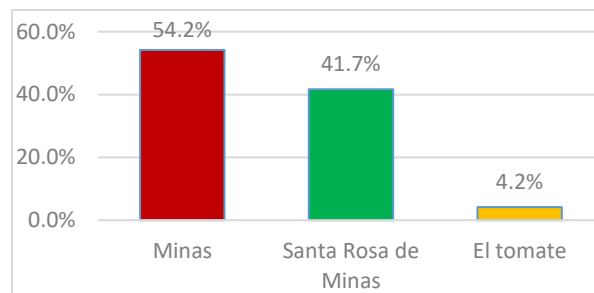
Fuente: Investing.coc



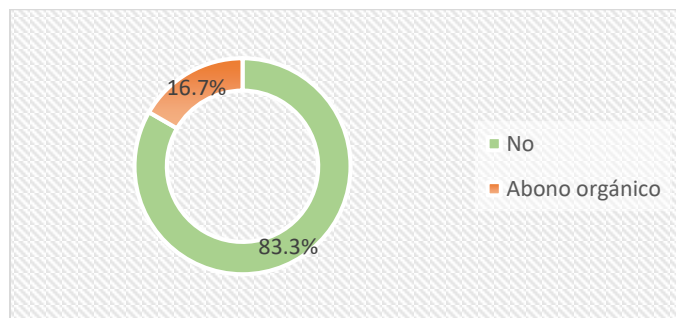
Anexo 20: Interés en utilizar una maquina de manera automática



Anexo 21: Lugar de preferencia de un posible lugar en el que se realice el despulpado de manera automática



Anexo 22: Conocimiento sobre el aprovechamiento de la pulpa de café



Anexo 23: Disposición de apoyo a la aplicación de sistema de aprovechamiento de la pulpa de café para la generación de energía eléctrica

