

Rendimiento y Producción de Carbón Vegetal con tres Hornos tipo Rabo Quente

José Antonio Aparicio Hernández¹

jose.ah@zacatlan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0008-1798-4903>

Instituto Tecnológico Superior de la Sierra

Norte de Puebla

México

Marcos López González

marcos.lg@zacatlan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0002-9311-2388>

Instituto Tecnológico Superior de la Sierra

Norte de Puebla

México

Emanuel Mora Castañeda

emanuel.mc@zacatlan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0009-2473-8070>

Instituto Tecnológico Superior de la Sierra

Norte de Puebla

México

Eyvar Trejo Garrido

eyvar@zacatlan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0009-0008-3596-4383>

Instituto Tecnológico Superior de la Sierra

Norte de Puebla

México

Everardo Miguel Díaz

everardo.md@zacatlan.tecnm.mx

<https://orcid.org/0000-0001-9074-1221>

Instituto Tecnológico Superior de la Sierra

Norte de Puebla

México

RESUMEN

El Proyecto tuvo como objetivo Analizar el rendimiento y la productividad y áreas de oportunidad de los 3 Hornos de Ladrillo tipo Rabo Quente en la producción de carbón vegetal, en el Ejido de Mesa Chica, Ahuazotepec, Puebla”. Se realizó la quema, operación, monitoreo y productividad del Paquete tecnológico en lapsos de tiempo. Análisis de la eficiencia del sistema bajo un análisis estadístico. Los resultados fueron: la revisión y análisis de la situación actual de la producción de carbón vegetal en la región; Proceso de apilamiento de materia prima y quema. Monitoreo y apagado de los hornos en un lapso de tiempo. Clasificación y producción de carbón vegetal. Análisis estadístico para determinar la funcionalidad, eficiencia, calidad y áreas de oportunidad de los hornos para la producción de carbón vegetal. Con este proyecto se busca tener una mejor productividad, impacto económico, social y ambiental en la producción de carbón vegetal en el Ejido.

Palabras clave: producción de carbón vegetal; mesa chica; proceso; mejora

¹ Autor principal.

Correspondencia: jose.ah@zacatlan.tecnm.mx

Yield and Production of Charcoal with three Rabo Quente type Furnaces

ABSTRACT

The objective of the Project was to analyze the productivity and areas of opportunity of the 3 Rabo Quente type Brick Kilns in the production of charcoal, in the Mesa Chica Ejido, Ahuazotepec, Puebla. The burning, operation, monitoring and productivity of the technological package were carried out in time lapses. Analysis of system efficiency under statistical analysis. The results were: the review and analysis of the current situation of charcoal production in the region; Raw material stacking and burning process. Monitoring and shutdown of ovens over a period of time. Classification and production of charcoal. Statistical analysis to determine the functionality, efficiency, quality and areas of opportunity of the ovens for the production of charcoal. This project seeks to have better productivity, economic, social and environmental impact in the production of charcoal in the Ejido.

Keywords: charcoal production; mesa chica; process; improvement

Artículo recibido 15 noviembre 2023

Aceptado para publicación: 28 diciembre 2023

INTRODUCCIÓN

El carbón vegetal es el primer material de carbón utilizado por el hombre y su uso data probablemente desde el mismo momento en que se comienza a utilizar el fuego; dado que los trozos de madera carbonizada que quedarían en algunas hogueras pueden considerarse un carbón vegetal rudimentario (Flores y Malespín, 2013). El carbón vegetal es un material combustible sólido, frágil y poroso con un alto contenido en carbono (del orden del 98 %) (Ríos y Carrera, 2015). Es un residuo negro y ligero de carbono que se produce al calentar fuertemente la madera, hasta temperaturas que oscilan entre 400 y 700 °C, en ausencia de aire, en un mínimo de oxígeno para eliminar toda el agua y los componentes volátiles. Se estima que el sesenta por ciento de toda la madera extraída en el mundo, se quema como combustible, ya sea directamente, o transformándola en carbón vegetal (Booth, 1974).

El carbón vegetal se usa mayoritariamente como combustible, no solo de uso doméstico sino también industrial, especialmente en los países en vías de desarrollo (Philipps, 2019), también es una actividad económica que permite aprovechar recursos forestales de baja calidad, como es la leña de diversas clases, para obtener un producto con buen precio y demanda en el mercado.

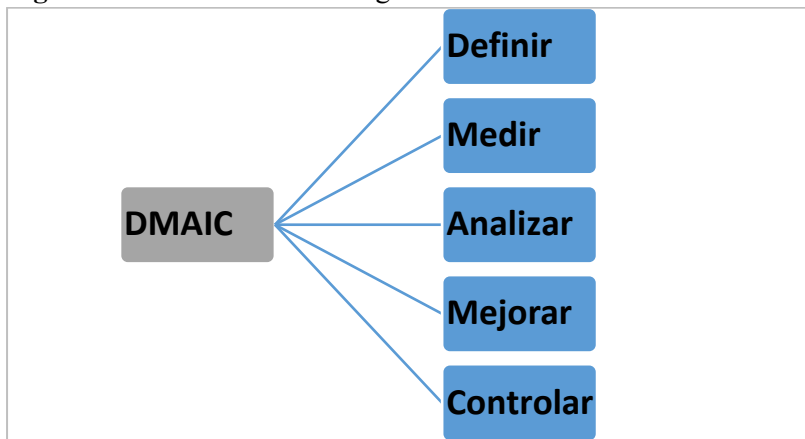
A partir del contexto anterior en el Ejido de Mesa Chica Ahuazotepec, Puebla, se construyeron tres hornos tipo Rabo Quente para la producción de carbón vegetal, en los datos históricos que se tienen del año 2022 la producción que se ha obtenido es relativamente baja e incluso no cumple con la media establecida por horno que es 700 kg de carbón por horno, es por ello que se utilizó la metodología DMAIC para poder incrementar la producción de carbón vegetal en el año 2023 que comprende los meses de enero-octubre en los tres hornos que se construyeron y de la misma forma incrementar la economía del mismo Ejido.

METODOLOGÍA

Para este proyecto se utilizó un tipo de estudio descriptivo cuantificable por medio de la metodología DMAIC (definir, medir, analizar, mejorar, y controlar) es la metodología de procesos usado por seis sigma, y es un método que sigue un formato estructurado y disciplinado basado en el planteamiento de una hipótesis la realización de experimentos y su subsecuente evaluación para confirmar o rechazar la hipótesis previamente planteada (Vidal et al., 2018; Celis & García, 2012). La metodología DMAIC (por sus siglas en inglés: Define, Mide, Analiza, Implementa Controla), utilizada en el desarrollo

proyectos Seis Sigma. Esta metodología consiste en definir el problema, medir, analizar, proponer mejoras y controlar los procesos involucrados (Hernández et al., 2021; González et al., 2021). Las amplias recomendaciones del uso de herramientas de mejoramiento, también han generado cuestionamientos entre académicos, investigadores, empresarios y público en general, sobre su incidencia en el desempeño de las organizaciones, siendo complejo demostrarlo desde el punto de vista científico, debido a la dinámica que rodea a la empresa, a la dificultad para monitoreos constantes, propios de estudios longitudinales, a la cantidad de variables incontrolables que signan el actuar de las organizaciones y al difícil acceso a la información (Medina et al., 2020).

Figura 1. Fases de la metodología DMAIC



Fuente. Elaboración propia

Fase Definir

Actualmente en el ejido de Mesa Chica, Ahuazotepec, Puebla, se cuentan con tres hornos para la producción de carbón vegetal desde el año 2021, en los datos estadísticos que se han recabado, se ha observado que cada horno produce entre 600 a 800 kg de carbón vegetal utilizando específicamente leña de encino, este proceso de carbonización se lleva a cabo entre 10 a 15 días para obtener el producto. Los aprovechamientos forestales generan una importante derrama económica, se generan fuentes de empleo, desde los trabajos de corte, arrime y flete de los productos forestales, se reparten utilidades a los ejidatarios producto de las utilidades por concepto de la venta de madera, sin embargo, haciendo un análisis también se puede incrementar la productividad de carbón utilizando diferentes técnicas que ayuden a mejorar el proceso en la obtención de dicho producto. Y el objetivo de este proyecto es incrementar un 10% en la producción de carbón y que también se verá reflejado en la utilidad final.

Objetivo: Incrementar la producción de carbón vegetal en 10% de los tres hornos tipo Rabo Quente en el Ejido de Mesa Chica, Ahuazotepec, Puebla.

En esta etapa de definición de contemplan los siguientes puntos:

Límites de especificación Métrico Primario (Y)

Valor **mínimo** aceptable: 600 kg de carbón vegetal

Valor **máximo** aceptable: 800 kg de carbón vegetal

Desempeño **Actual** (Y): 700 kg de carbón vegetal teniendo como media

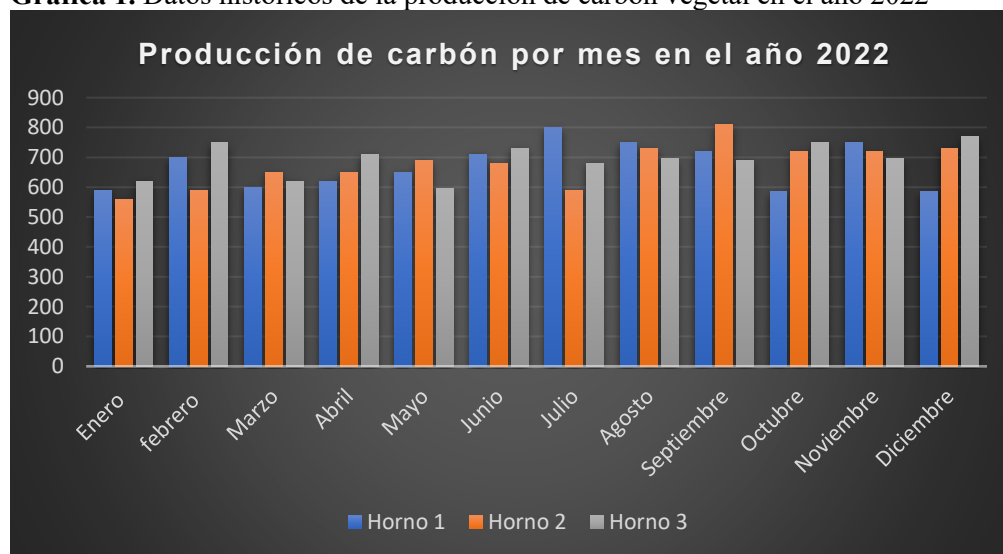
A continuación, se presentan los datos históricos que se han recabado durante el año 2022 referente a la producción de carbón vegetal en el Ejido de Mesa Chica.

Tabla 1. Datos de la producción de carbón 2022.

Producción de carbón vegetal en kilogramos en el año 2022			
Mes	Horno 1	Horno 2	Horno 3
Enero	590	560	620
febrero	700	590	750
Marzo	600	650	620
Abril	620	650	710
Mayo	650	690	595
Junio	710	680	730
Julio	800	590	680
Agosto	750	730	695
Septiembre	720	810	690
Octubre	585	720	750
Noviembre	750	720	695
Diciembre	585	730	770

Fuente. Elaboración propia

Gráfica 1. Datos históricos de la producción de carbón vegetal en el año 2022

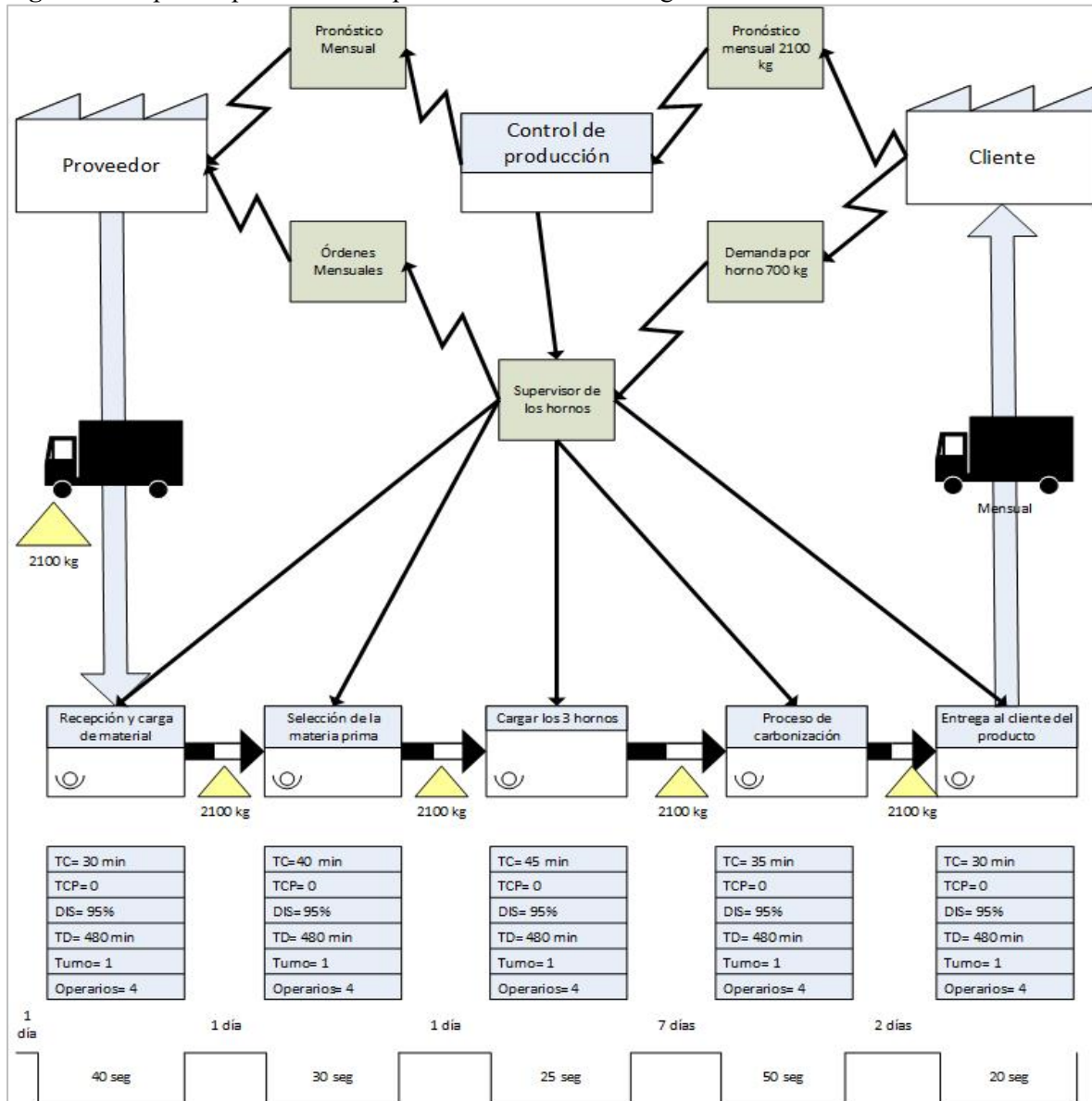


Fuente. Elaboración propia

Fase Medir

En esta fase de medición lo primero que se realizó fue un mapeo de procesos para conocer la situación actual del proceso de elaboración del carbón vegetal, en la siguiente figura se puede observar el mapeo de procesos que se llevó a cabo.

Figura 2. Mapeo de procesos de la producción de carbón vegetal



Fuente. Elaboración propia

Se realizó el diagrama **SIPOC** recibe su nombre por sus siglas en inglés, Supplier-Input-Process-Output-Customer, es decir, Proveedor-Insumos-Proceso-Salidas-Cliente como se puede observar en la siguiente figura.

Figura 3. Diagrama SIPOC



Fuente. Hernández et al., 2021

De acuerdo a lo anterior, vale la pena definir los siguientes conceptos:

- Proveedor es cualquier persona o proceso que suministra algún insumo.
- Insumo es todo aquello que se requiere para llevar a cabo nuestro proceso, puede ser información, materiales, actividades o recursos.
- Proceso son las actividades básicas para convertir las entradas en salidas.
- Salida es el resultado del proceso.
- Cliente es la persona o proceso que se ve afectada por el resultado del proceso.

En resumen, SIPOC es una herramienta que consiste en elaborar un diagrama, que permite visualizar al proceso de manera sencilla y general (Tobar y Mota, 2007).

La siguiente figura corresponde al análisis SIPOC realizado en la producción de carbón vegetal en el Ejido de Mesa Chica, Ahuazotepec, Puebla, lo que permite tener una visión general del proceso a lo largo de todo el proceso desde el inicio hasta la obtención del carbón.

Tabla 2: Esquema SIPOC del proceso de producción de carbón vegetal


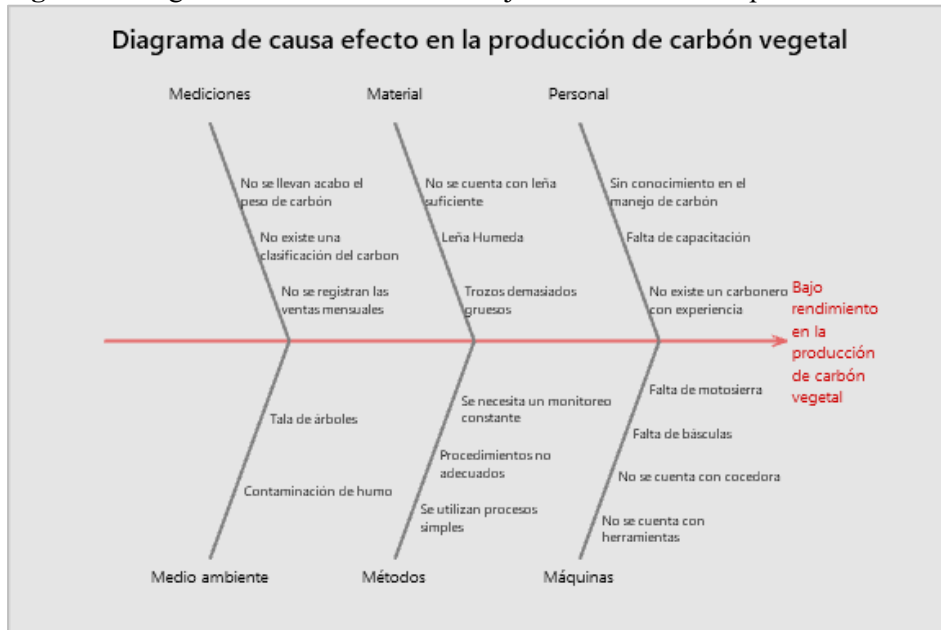
DIAGRAMA SIPOC EN LA PRODUCCION DE CARBON VEGETAL				
SUPPLIERS	INPUTS	PROCESS	OUTPUTS	CUSTOMER
¿Quién me lo vende o dónde lo compro?	¿Qué necesito?	¿Cómo se hace?	¿Qué resulta del proceso?	¿A quién se lo vendo?
A serradero	Leña de encino	 <p>Acompañamiento para la construcción de hornos tipo Rabo Quente a capacidad de 600 kilogramos por quema, hecho a base de tabique o ladrillo rojo y cementado con barro.</p> <p>Selección del lugar y orientación adecuado para la construcción de los hornos.</p> <p>Elaboración de los planos y diseño estructural del horno a construir.</p> <p>Selección de los materiales adecuado y necesarios para su construcción.</p> <p>Adquisición de los materiales</p> <p>Inicio de obras en la construcción del horno.</p> <p>Curado de horno tipo Rabo Quente con quemas preliminares.</p> <p>Pruebas de funcionamiento.</p> <p>Preparación de madera y abastecimientos de materia prima para horno.</p> <p>Quema de madera de especies adecuadas en horno tipo Rabo Quente.</p> <p>Seguimiento al proceso de quema para garantizar óptima distribución de calor que permita minimizar tiempos de proceso y cuidado de la calidad del producto final.</p> <p>Sellado y enfriado del horno durante cuatro días posteriores a la conclusión del proceso.</p> <p>Apertura y extracción de carbón vegetal frío.</p> <p>Empaquetado de carbón vegetal.</p> <p>Pesado</p> <p>Almacenaje de producto terminado</p> <p>Venta de Carbón</p>	Carbón vegetal en diferentes presentaciones	Minoristas
Ejidatarios/comuneros	Mano de Obra		Costales de 20 kg de Carbón vegetal	Mayoristas
Inversionistas/Propietarios	Recurso económico		Costales de 10 kg de Carbón Vegetal	
SOSAPAZ	Agua potable		Costales de 5 kg de Carbón Vegetal	
Camiones del Ejido	Transporte		Costal de 1 kg de Carbón Vegetal	
Ferretería Álvarez	EPP		En su caso venta total del carbón a mayoristas	
	Báscula			
	Comal de fierro			
	Cosedora			
Constructora COPRIZA	Arena			
	Cal			
	Ladrillos			
	Cemento			
	Grava			
	Barro			
Papelería Noemí	Material de papelería			
Gasolinera el Crucero	Combustibles			
Jarcería	Costales			
	Rafia			
	Agujas			

Diagrama de Flujo de Proceso

Fuente: Elaboración propia

La fase de medición implica describir el problema u oportunidad de mejora y determinar de qué forma afecta. Además, en esta etapa se trazan los objetivos que se pretenden lograr. Por tal motivo se utiliza un diagrama de Ishikawa para representar las principales causas del problema y a su vez el efecto que estos causan.

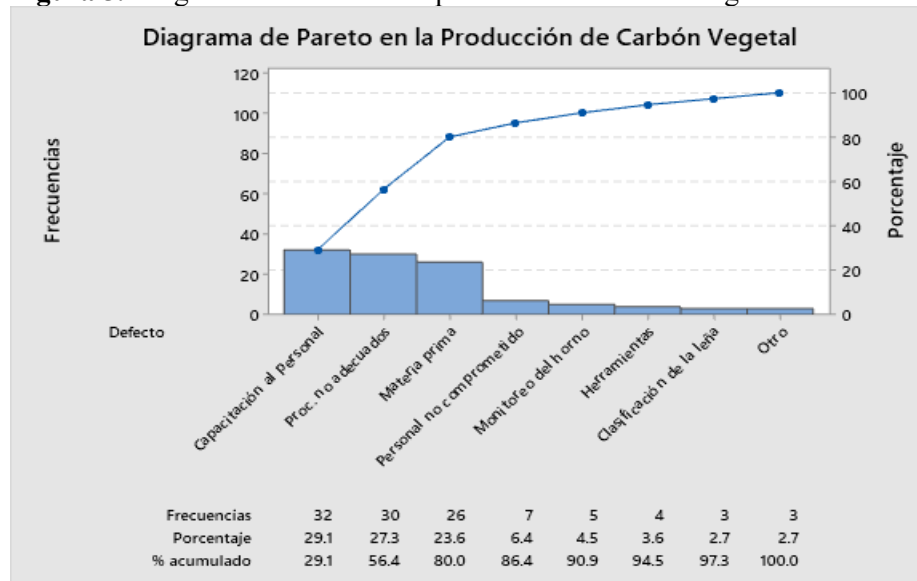
Figura 4. Diagrama de causa efecto del bajo rendimiento en la producción de carbón vegetal.



Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en el diagrama de causa efecto se presentan las principales causas del bajo rendimiento en la producción de carbón vegetal en el Ejido de Mesa Chica, así como el efecto principal. Mediante el diagrama de Pareto se detectan los problemas potenciales recurrentes en el área, considerando los datos históricos, los cuales son agrupados de acuerdo a su relevancia mediante la aplicación del principio de Pareto (pocos vitales, muchos triviales). Por lo general, el 80% de los resultados totales (detenciones no programadas), se originan en el 20% de los elementos (Ortiz y Rodríguez, 2006).

Figura 5. Diagrama de Pareto en la producción de carbón vegetal



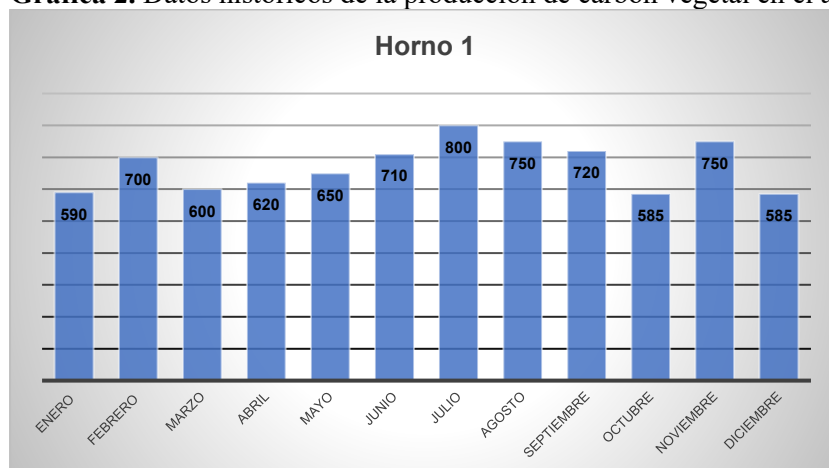
Fuente. Elaboración propia

En el diagrama de Pareto se puede observar que los problemas principales que se encuentran son tres tales como: capacitación al personal, procedimientos no adecuados y materia prima, estos datos se obtuvieron en un lapso de 12 meses en la producción de carbón de los tres hornos durante el año 2022.

Fase Analizar

En esta fase, corresponde analizar el comportamiento de la producción de carbón vegetal de cada horno durante el año 2022. Como se puede observar en la siguiente gráfica, se puede analizar la producción de carbón vegetal, lo cual se llevó a cabo una quema por mes, estos datos recabados fueron únicamente del Horno 1, teniendo una media de producción de 672 kg. anualmente.

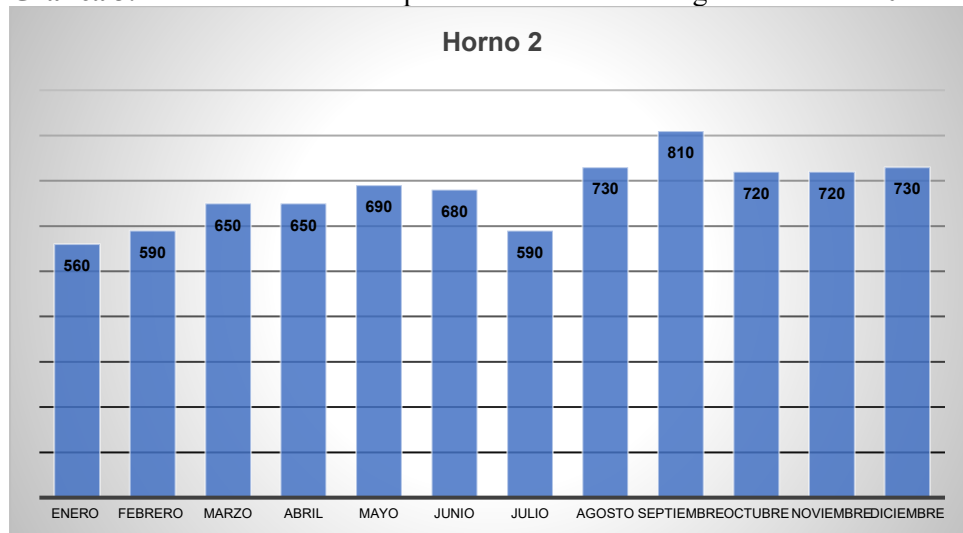
Gráfica 2. Datos históricos de la producción de carbón vegetal en el año 2022. Horno 1



Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en la siguiente gráfica, se puede analizar la producción de carbón vegetal durante el año 2022, lo cual se llevó a cabo una quema por mes, estos datos recabados fueron únicamente del Horno 2, teniendo una media de producción de 677 kg. anualmente.

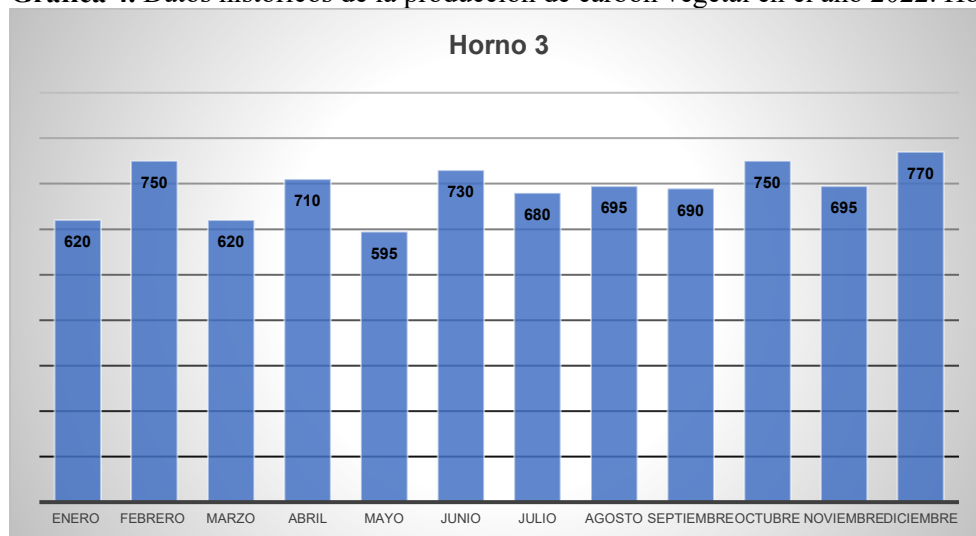
Gráfica 3. Datos históricos de la producción de carbón vegetal en el año 2022. Horno 2



Fuente. Elaboración propia

Como se puede observar en la siguiente gráfica, se puede analizar la producción de carbón vegetal durante el año 2022, lo cual se llevó a cabo una quema por mes, estos datos recabados fueron únicamente del Horno 3, teniendo una media de producción de 692 kg. anualmente.

Gráfica 4. Datos históricos de la producción de carbón vegetal en el año 2022. Horno 3

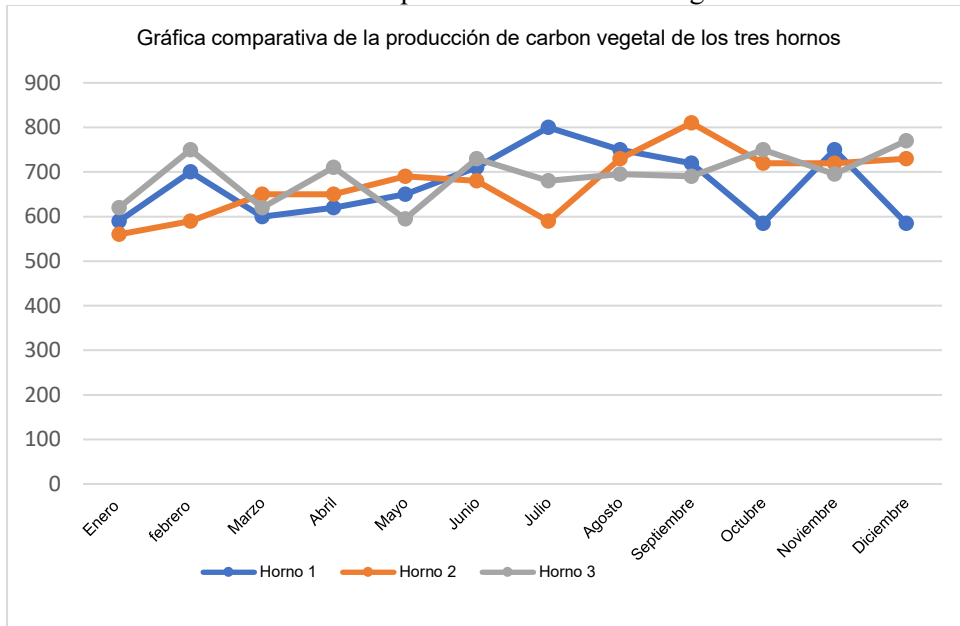


Fuente. Elaboración propia

Una vez que se analizó la producción de carbón vegetal de los tres los tres hornos, se observa que se se tuvo una media de 680 kg de forma anual, relativamente no se tiene o no se alcanza la media ponderada

al inicio que es de 700 kg. por lo que se buscaron estrategias para mejorar la producción para el año 2023.

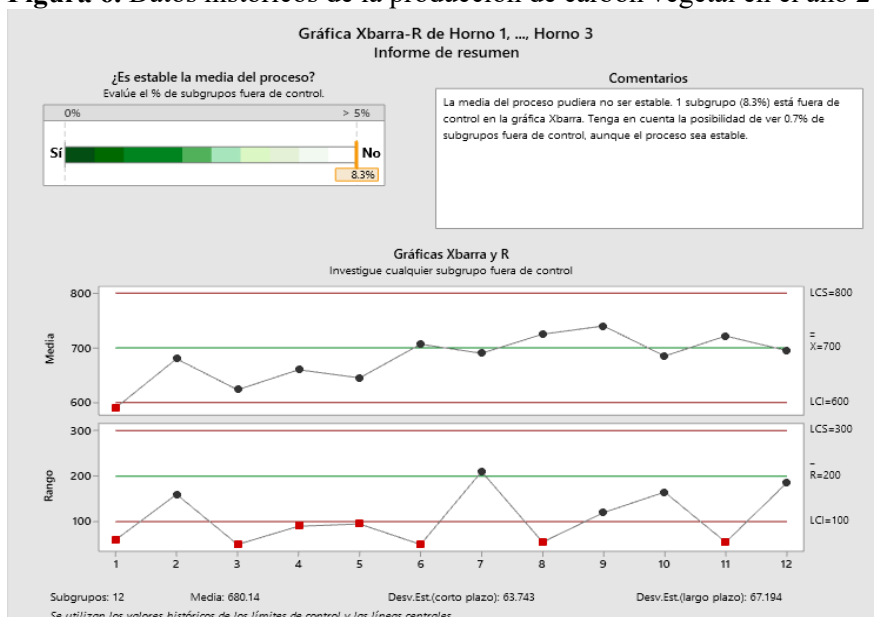
Gráfica 5. Datos históricos de la producción de carbón vegetal en el año 2022.



Fuente. Elaboración propia

Dentro de esta misma fase, se realizó un gráfico de control en Minitab para analizar el comportamiento de la producción de carbón vegetal y por lo que se puede observar hay datos que se encuentran fuera de control, esto significa que están por debajo de la media, en este caso se requiere una media de 700kg, posteriormente se analizará la producción de 2023 y se analizarán nuevamente los resultados.

Figura 6. Datos históricos de la producción de carbón vegetal en el año 2022. Horno 3



Fuente. Elaboración propia

Fase Mejorar

Después de pasar la fase de análisis de producción de carbón vegetal de los tres hornos tipo Rabo Quente del año 2022, se procedió a realizar diversas acciones de mejorar la producción del año 2023, las cuales se describen a continuación:

1. Desarrollar un proceso de evaluación y selección de proveedores.
2. Mejorar y estandarizar los métodos de trabajo.
3. Organizar los puestos de trabajo.
4. Capacitar a los ejidatarios en el acomodo de la leña dentro de los hornos.
5. Mejora el seguimiento de la carbonización.
6. Control de carbonización mejorado.
7. Mejora de un sistema de supervisión durante el proceso de carbonización.
8. Mantenimiento de los hornos por cada quema que se realice.

A continuación, se presentan imágenes donde se puede observar las acciones que se llevaron a cabo para implementar las diferentes estrategias de mejora con la finalidad de incrementar la producción de carbón vegetal.



a) Explicación teórico-práctica de la mejora



b) Seguimiento de la explicación sobre la mejora



c) Puesta en marcha de la propuesta



d) Participación de hombres y mujeres en el proceso de acomodo de la leña



e) Resultado del acomodo de la leña antes del proceso de carbonización

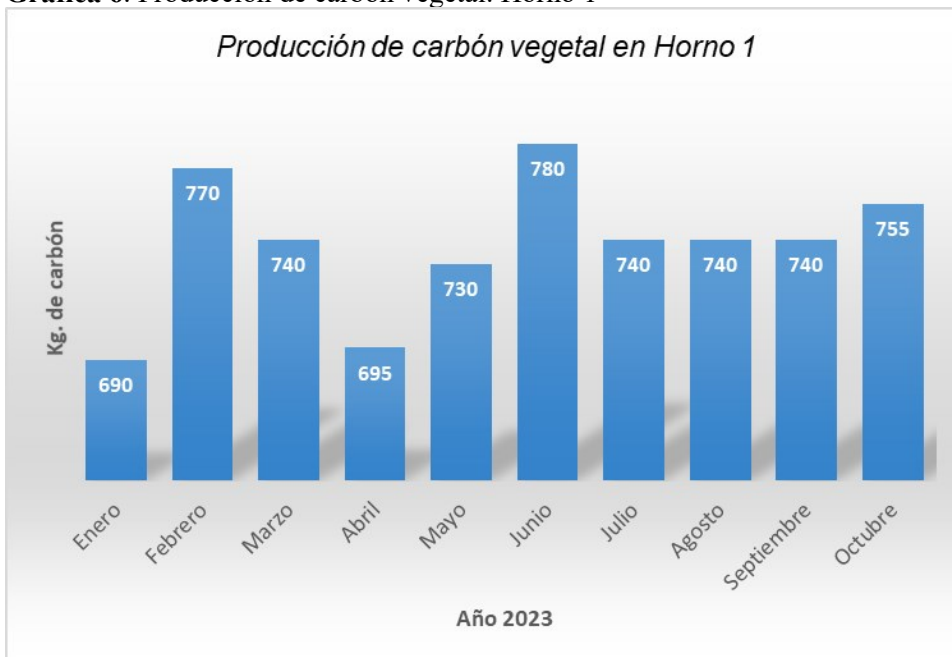


f) Obtención del carbón vegetal

Posteriormente se tomaron los nuevos datos correspondiente a los meses de enero a octubre 2023, que a continuación se presentan en graficas de los tres hornos en la producción de carbón vegetal.

En primera estancia se encuentra la nueva producción de carbón vegetal en el horno 1 con una media de 738 kg. por lo que incremento en comparación de la producción del año 2022 que fue de una media de 672 kg.

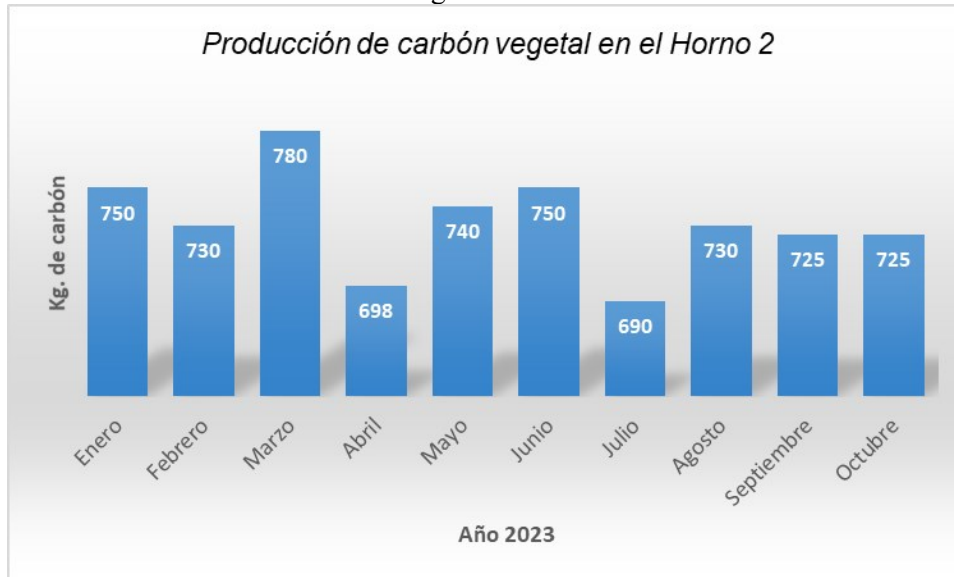
Gráfica 6. Producción de carbón vegetal. Horno 1



Fuente. Elaboración propia

En segunda estancia se encuentra la nueva producción de carbón vegetal en el horno 2 con una media de 732 kg. por lo que incremento en comparación de la producción del año 2022 que fue de una media de 677 kg.

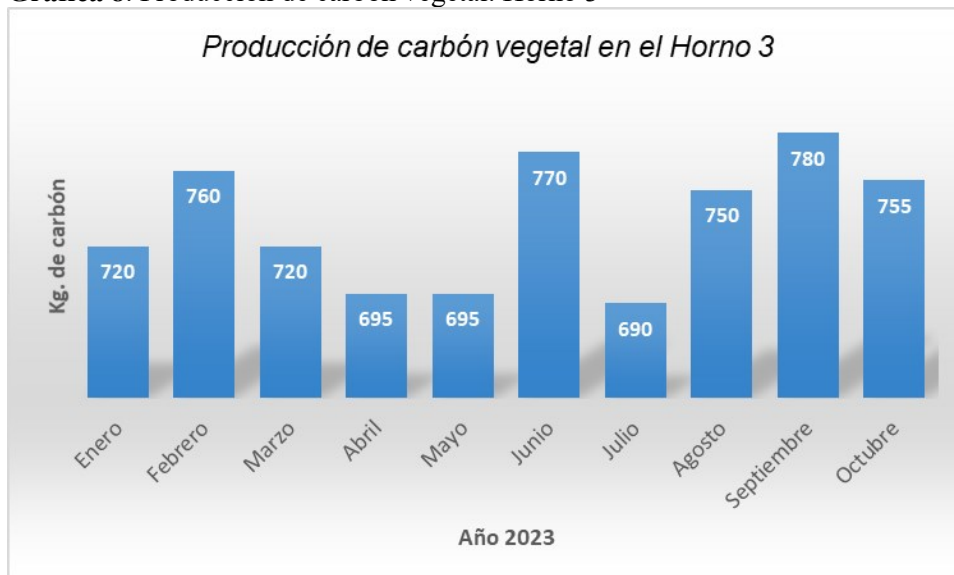
Gráfica 7. Producción de carbón vegetal. Horno 2



Fuente. Elaboración propia

En tercera estancia se encuentra la nueva producción de carbón vegetal en el horno 3 con una media de 734 kg. por lo que incremento en comparación de la producción del año 2022 que fue de una media de 680 kg. Dando por entendido que para el año 2023 la producción de carbón vegetal ha incrementado por encima de la media de los 700 kg. por horno

Gráfica 8. Producción de carbón vegetal. Horno 3



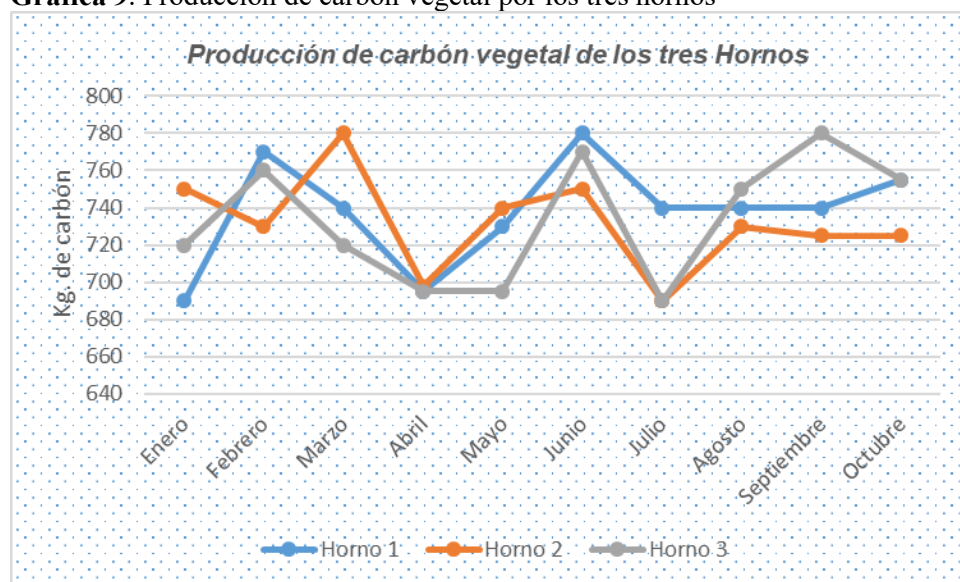
Fuente. Elaboración propia

Fase de control

Con esta última etapa se busca elaborar procedimientos o estrategias que permitan controlar la mejorar, se definen controles para asegurarse que las mejoras que fueron aplicadas y se mantengan en la organización. Dentro del análisis se realizaron estudios estadísticos de los tres hornos tipo Rabo Quente para la producción de carbón vegetal durante los meses de enero a octubre 2023, así como una comparación de su comportamiento actual donde se puede observar el incremento que se tuvo después de realizar las mejoras correspondientes.

En la siguiente gráfica se presentan la gráfica comparativa de los nuevos datos que se obtuvieron de los tres hornos. Donde se puede apreciar que la producción de carbón vegetal se encuentra por encima de la media que es de 700kg.

Gráfica 9. Producción de carbón vegetal por los tres hornos

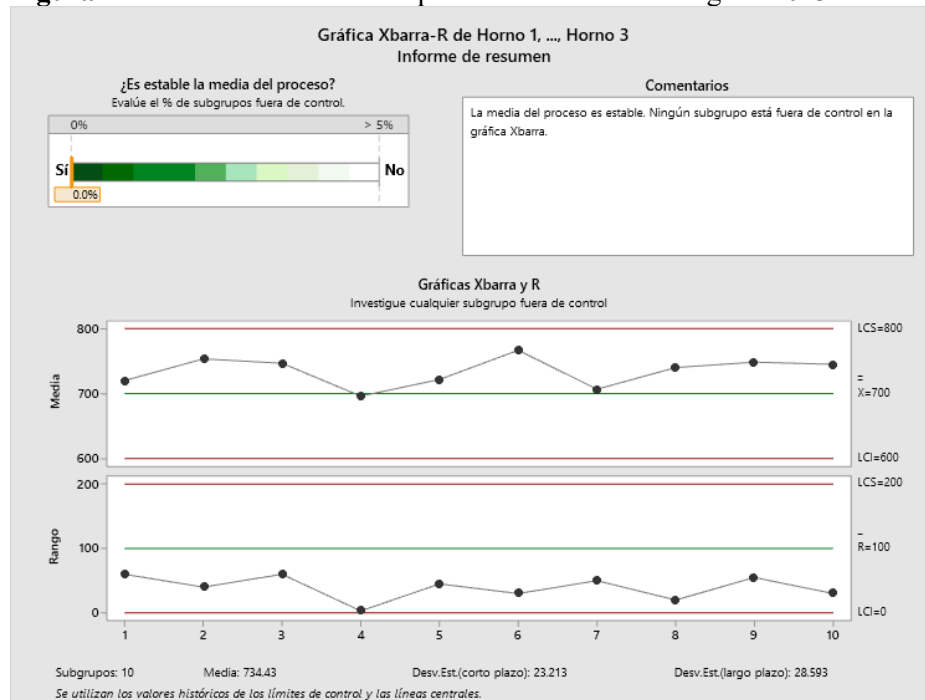


Fuente. Elaboración propia

Lo que se espera para producciones posteriores es seguir con la implementación de mejoras con la finalidad de obtener mayor rendimiento por cada horno, de esta manera el Ejido se verá beneficiado económicamente al obtener más producción por cada horno.

En la figura 7, se muestra el nuevo gráfico de control que se obtuvo con los nuevos datos de la producción del año de 2023, donde se puede observar el comportamiento de los datos, mostrando que existe un control y que se encuentran por encima de la media estimada de 700 kg., establecidos en los parámetros al inicio de este proyecto.

Figura 7. Gráfico de control de la producción de carbón vegetal 2023



Fuente. Elaboración propia

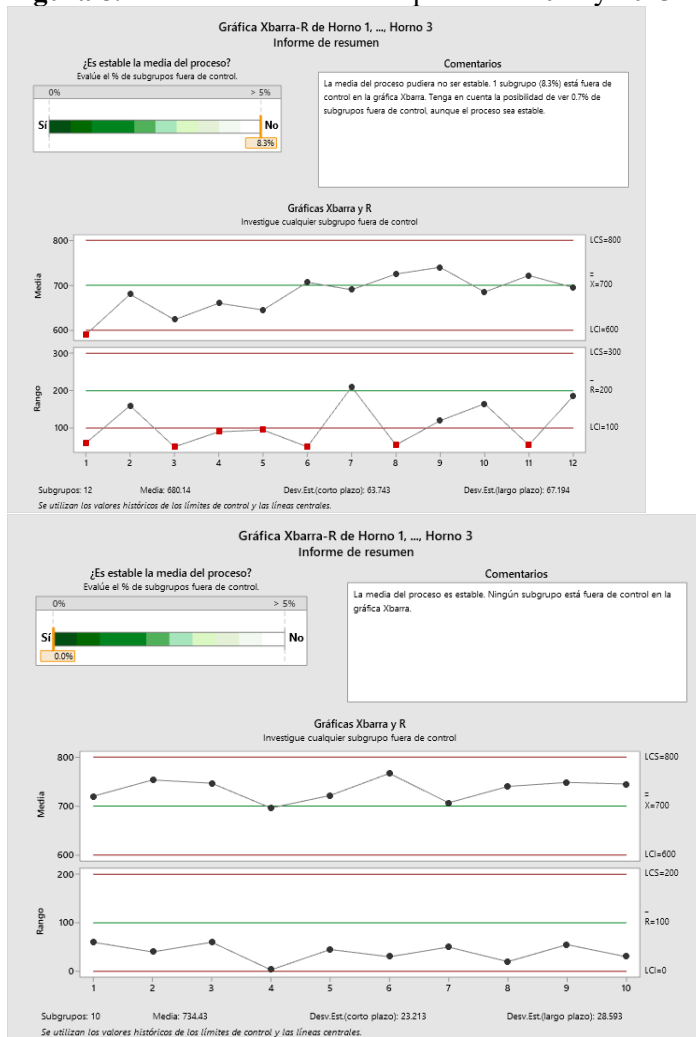
Las estrategias que se utilizarán para mantener el control de la producción de carbón vegetal e incluso seguir mejorando son las siguientes.

- Introducir leña de encino con un grado de humedad mínimo.
- Introducir leña de encino con un diámetro en promedio de 30 cm.
- Monitoreo constante en el momento de la carbonización.
- Seguir con la capacitación al personal.
- Investigar nuevas técnicas de producción de carbón vegetal.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de analizar las fases de la metodología DMAIC e implementarlas en el proyec, los resultados que se obtuvieron fueron favorables de tal forma que al realizar el análisis estadístico se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 8. Gráficos de control comparativos 2022 y 2023

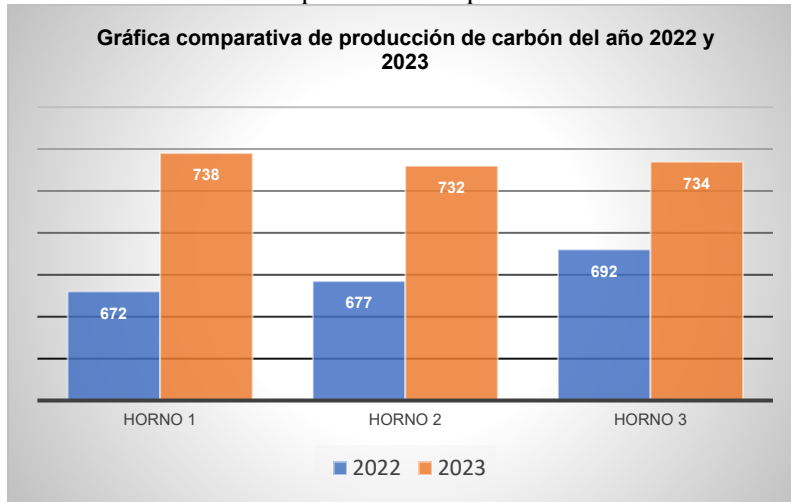


Fuente. Elaboración propia

Como se puede apreciar en las gráficas de control, para la producción de carbón vegetal en el año 2023 incremento gradualmente en comparación de la producción del año 2022, donde podemos visualizar que en el año 2023 los datos están centrados y están por arriba de la media de producción.

En la gráfica 10, se presenta la comparación de la producción de carbón vegetal durante el año 2022 y 2023, donde se puede apreciar el resultado que se obtuvo específicamente en el año 2023, donde se realizaron algunas estrategias de mejora para incrementar la misma producción. En el año 2022 se obtuvo una media de producción anual de 680 kg. y referente al año 2023 se obtuvo una media de 735 kg. haciendo mención que se obtuvo un 7.5% de incremento en la producción. Y esto a su vez se convierte en una ventaja en el aprovechamiento de los tres hornos tipo Rabo Quente que se tienen en el Ejido de Mesa Chica.

Grafica 10. Gráfica comparativa de la producción de carbón del año 2022 y 2023



Fuente. Elaboración propia

CONCLUSIONES

El éxito en la implementación de la metodología DMAIC depende no sólo de la difusión de conocimientos en métodos estadísticos sino del compromiso y la disposición de los dueños o gerentes encargados de liderar este cambio de cultura dentro de toda la organización, así como los recursos humanos y materiales destinados a este programa y finalmente la motivación y propiciación de este cambio en cada uno de los empleados en todos los niveles, de adoptar una nueva metodología de mejora de la calidad y se pueda generar competitividad para la empresa al ofrecer productos y servicios mejorados y libres de defectos que cumplan con los requisitos de calidad exigidos por los clientes.

La metodología empleada en este proyecto, tuvo gran participación de las personas involucradas del Ejido de Mesa Chica, dando resultados muy favorables en su implementación, para ello se necesita seguir con las recomendaciones necesarias para continuar implementando estrategias que ayuden a mejorar la calidad del producto y la economía del Ejido.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Argueta S, C. 2006. Descripción y análisis de dos métodos de producción de carbón vegetal en el Estado de Tamaulipas. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Tesis. Chapingo, México. 57 p.

Barrera García, A., Cambra Díaz, A., & González González, J. A. (2017). Implementación de la metodología seis sigma en la gestión de las mediciones. *Revista Universidad y Sociedad*, 9(2), 8-17.

- Booth H.E. 1974-Abastecimiento a largo plazo de carbón de leña para Altos Hornos Zapla. UNDP.FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations), ARG 70/536, Documento de Trabajo No. 13. (En español).
- Escalante, E (2014). Seis - Sigma. Metodología y Técnicas. Ciudad de México, México: Editorial Limusa.
- Flores, F. G. R., & Malespín, E. C. R. (2013). Comparación de calidad en la producción de carbón vegetal en la Finca El Plantel, Masaya. *La Calera*, 13(21).
- García M., J. G. 2010. Determinación de rendimientos y calidad de carbón de residuos de *Quercus* spp, grupo *Erythrobalanus*, en dos tipos de hornos. Tesis de 53 Maestría. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. p. 91
- González, R. G., León, S. J., Ramírez, I. G., & Pérez, J. E. C. G. (2021). DMAIC–SIX SIGMA: DMAIC Six Sigma. *Revista Relayn-Micro y Pequeñas empresas en Latinoamérica*, 5(3), 164-190.
- Gutiérrez, P., & Gutiérrez, H. (enero del 2000). Control estadístico de la calidad y Seis Sigma (3a. ed.). México D.F. McGraw-Hill Interamericana.
- Gutiérrez, H. y de la Vara, R. (2008): Control estadístico de calidad y Seis Sigma, 2da edición. Editorial McGraw Hill, México.
- Hernández, L. C. R., Romero, J. L., López, Y. B., Sánchez, A. P., & Mendoza, D. T. (2021). Lean Healthcare y DMAIC para mejorar el proceso de suministro en un hospital público. *DYNA management*, 9(1), 20-p.
- Jeroen de Mast n, Joran Lokkerbol, 2012. An analysis of the Six Sigma DMAIC method from the perspective of problema solving, *Int J. Production Economics*, 139, 604-614.
- Medina, M. A. R., Lucero, J. G. T., OJINAGA, E. R. P., & Mata, L. E. T. (2020). Reducción de la variación en un proceso de moldeo de partes a través de la metodología 6 sigma. *DYNA management*, 8(1), 18-p.
- SEMARNAT. 2007. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2007. México. SEMARNAT. 224 p.
- Philipps Gallo, J. L. (2019). Calidad de vida de los productores de carbón artesanal vegetal en el distrito de Manantay de la provincia de coronel portillo–Región Ucayali.

Ríos, C. C., Carrera Ríos, C. (2015). Las ordenanzas municipales y las fábricas de carbón en el Cantón Quevedo. Colombia.

Sung, H. Park. 2003. Six Sigma Framework: DMAIC Process. Six Sigma for Quality and Productivity Promotion. Serie 32. Japon Published by Asian Productivity Promotion.

Vidal, B. P., Soler, V. G., & Molina, A. I. P. (2018). Metodología Six Sigma. Comparación entre ciclo PDCA y DMAIC. In Cuadernos de investigación aplicada (pp. 27-34). 3ciencias.