



UNIVERSITAT
POLITÀCNICA
DE VALÈNCIA

ÀREA DE COOPERACIÓ AL
DESENVOLUPAMENT

Centro de Aplicaciones Tecnológicas
para el Desarrollo Sostenible (Cuba)



PROGRAMA ADSIDEO – COOPERACIÓN

GUÍA PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN GUANTÁNAMO

Dr. [Borja Velázquez Martí](#)

Departamento de Ingeniería Rural y
Agroalimentaria
Universitat Politècnica de Valencia
Camino de Vera s/n
46022 Valencia, España
borvemar@dmta.upv.es

Dr. José Rolando Dupuy Parra

Centro de Aplicaciones Tecnológicas para el
Desarrollo Sostenible (CATEDES)
Guantánamo, Cuba
jdpuyparra@gmail.com ; jr.dupuy@nauta.cu

Enero 2025

Guía para la Producción de Carbón Vegetal en Guantánamo

INTRODUCCIÓN

La producción de carbón vegetal no solo representa una actividad técnica, sino también una oportunidad significativa para el desarrollo económico en la región de Guantánamo. Esta actividad, puede ser desarrollada mayormente en zonas rurales, puede utilizar especies locales como el marabú y el neem, destacándose por su calidad y alto contenido energético. Esta guía está diseñada para orientar a productores locales en técnicas eficientes, sostenibles y de alta calidad para la elaboración de carbón vegetal, maximizando el aprovechamiento de los recursos y minimizando el impacto ambiental.

El aprovechamiento de recursos naturales como la biomasa residual y la tierra disponible puede generar empleos directos en actividades como la preparación del terreno, el montaje de hornos y la producción de carbón. Además, fomenta empleos indirectos en áreas como transporte, comercialización y actividades complementarias, impactando positivamente la economía local.

FASES GENERALES DEL PROCESO

En el esquema de la Figura 1, se presentan de manera gráfica y secuencial las fases principales que conforman el proceso de producción de carbón vegetal. Este esquema sirve como guía visual para entender cada etapa clave, desde la preparación inicial hasta la obtención del producto final, detallando las actividades y los puntos críticos que deben ser considerados para garantizar eficiencia y calidad.

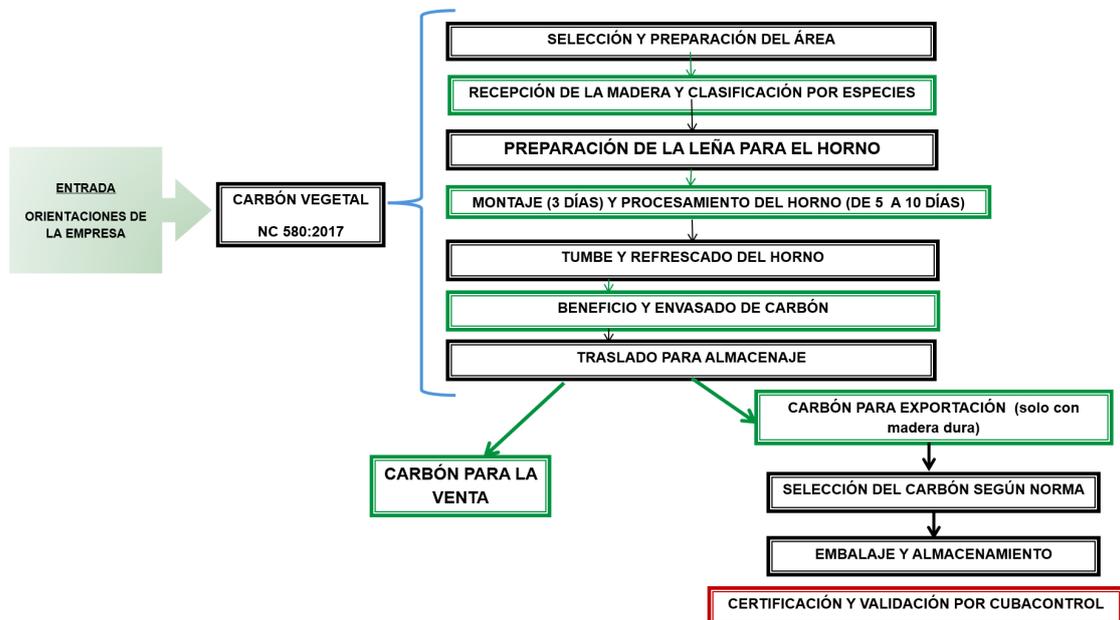


Figura. 1 Flujograma de la Producción de Carbón Vegetal

- **Selección y Preparación de la Materia Prima:** En esta fase se identifican y seleccionan las fuentes de biomasa disponibles, como restos de poda, madera seca, y residuos agrícolas. La materia prima se clasifica, corta y acondiciona para asegurar su compatibilidad con el sistema de carbonización.
- **Montaje de a pila de carbonización:** Existen en la literatura diferentes tipos de hornos para la producción vegetal. Debido a las condiciones económicas de Cuba, en esta guía se explicará las alternativas más asequibles desde el punto de vista de la inversión y facilidad de producción. De forma general todos los hornos se basan en un apilado de madera donde se produce una combustión parcial de forma que por la falta de oxígeno el calor generado produce la liberación de las materias volátiles sin oxidación, de tal manera que se obtiene la fracción sólida compuesta por el carbono fijo y las cenizas cuyo conjunto se denomina carbón vegetal o biochar. El proceso de eliminación de volátiles de forma genérica se denomina pirólisis. En esta etapa se presta especial atención a la compactación de la biomasa en el horno, asegurando un apilamiento eficiente que maximice el rendimiento del carbón.
- **Proceso de Carbonización:** Es el corazón del proceso, donde la biomasa se convierte en carbón vegetal mediante la pirólisis controlada. Se monitorean variables como la temperatura, el flujo de aire y el tiempo de residencia para garantizar que el carbón cumpla con los estándares de calidad.
- **Enfriamiento y Extracción:** Tras completarse la carbonización, el horno se enfría gradualmente para evitar que el carbón se inflame al entrar en contacto con el oxígeno. Luego, el carbón es extraído con cuidado para minimizar la generación de polvo y pérdidas del producto.
- **Selección y Envasado:** En esta etapa se elimina cualquier impureza remanente en el carbón y se clasifica según las especificaciones de granulometría. El producto se envasa en sacos apropiados que aseguren su conservación durante el almacenamiento y transporte.
- **Almacenamiento y Distribución:** El carbón vegetal se almacena en naves diseñadas para proteger el producto de la humedad y condiciones adversas. Posteriormente, es transportado a los mercados locales, nacionales o internacionales, cumpliendo con los estándares de calidad y normativas legales.

El esquema de la Figura 1 sintetiza estas etapas, destacando los puntos críticos de control y las interrelaciones entre las fases. Este enfoque estructurado permite a los productores identificar áreas de mejora y garantizar una producción sostenible y rentable.

COSNTRUCCIÓN ARTESANAL DE PARVAS PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL

Una de las formas tradicionales y más económicas para la producción de carbón vegetal es la utilización de parvas. Una parva es una pila o montón organizado de material, generalmente biomasa leñosa, tal como ramas forestales o residuos de la poda agrícola, en forma cónica o trapezoidal. Los materiales se apilan de manera densa para maximizar el aprovechamiento de la biomasa y facilitar un proceso de carbonización uniforme. Se cubre con una capa de hierba, hojas o tierra, lo que ayuda a controlar la entrada de oxígeno durante la combustión lenta, evitando que se produzca una llama abierta y asegurando la pirólisis.

Figura 2. Esquema y partes de la parva

A continuación, se describen detalladamente las fases del proceso.

1. Selección, preparación y legalización del terreno

El proceso de producción comienza con la selección adecuada del terreno, un paso crítico que combina aspectos legales, logísticos y medioambientales para garantizar el éxito y sostenibilidad del proyecto. El terreno se le dotará de un uso permanente, construyendo una pila de carbonización (parva) en cada ciclo productivo.

Se monta en un terreno previamente nivelado y limpio, para garantizar estabilidad y seguridad durante el proceso. Para la selección del terreno se debe tener en cuenta que los hornos deben estar distantes de las viviendas, que deben tener agua permanente y lo que es más importante estar cerca de la materia prima. Debe realizarse una adecuada preparación del terreno, el cual debe quedar perfectamente llano y nivelado con el propósito de evitar la inclinación del horno y la corriente de drenaje líquido producido por el proceso de combustión. Se limpia un espacio de alrededor de 6 m, se nivela y compacta, este debe tener un buen drenaje.

En Cuba, la destinación de un terreno para la producción de carbón vegetal requiere el cumplimiento de varios documentos legales y normativas específicas. Estos son algunos de los principales documentos y requisitos necesarios:

1. Titulación de la tierra

- Título de propiedad o usufructo: Se debe contar con un documento que acredite la tenencia legal de la tierra, ya sea en propiedad, usufructo o arrendamiento, conforme al Decreto-Ley 300 de 2012 sobre la entrega de tierras estatales en usufructo.
- En el caso de tierras bajo usufructo, se necesita la autorización explícita para la actividad de producción de carbón vegetal.

2. Licencia de uso del suelo

- Emitida por la Dirección de Planificación Física, que regula la actividad a realizar en el terreno, verificando que esta sea compatible con el uso del suelo definido en los planes locales de desarrollo.

3. Autorización del Ministerio de la Agricultura

- La actividad debe estar aprobada por el Ministerio de la Agricultura (MINAG), que regula el uso de los recursos forestales en el país, especialmente cuando involucra el aprovechamiento de madera o residuos agrícolas.

4. Permiso de explotación forestal

- Emitido por la Oficina Nacional de Inspección Estatal (ONIE) o la entidad forestal correspondiente, este permiso es obligatorio para el aprovechamiento y uso de recursos forestales, garantizando que las prácticas sean sostenibles y cumplan con las normativas ambientales.

5. Licencia ambiental

- Otorgada por el Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente (CITMA), según lo establecido en la Ley No. 81 de Medio Ambiente, para asegurar que la actividad no genere impactos negativos significativos en el medio ambiente.

6. Resolución 59 de Logística de Almacén

- Si se planea almacenar carbón vegetal en el terreno, se deben cumplir las normativas específicas para el almacenamiento de materiales peligrosos y cumplir con las medidas de seguridad industrial.

7. Normas técnicas para la producción de carbón vegetal

- La NC 580:2017 (Forestales: Carbón Vegetal - Especificaciones) establece requisitos técnicos que deben cumplirse en el proceso de producción.
- También puede ser necesario aplicar las normas de muestreo para inspección, como la NC-ISO 2859-2:2018.

8. Contrato con una entidad estatal o cooperativa

- En muchos casos, el productor necesita formalizar un contrato con una empresa estatal o cooperativa que regule la producción y comercialización del carbón vegetal.

9. Registros locales y municipales

- Inscripción en los registros correspondientes para obtener las autorizaciones municipales necesarias, incluyendo permisos de operación económica y uso de recursos naturales.

Estos documentos y permisos aseguran que la producción de carbón vegetal cumpla con los requisitos legales y técnicos en Cuba, promoviendo prácticas sostenibles y responsables. Es recomendable consultar con las autoridades locales y los organismos reguladores para obtener información detallada y actualizada sobre cada paso del proceso.

2. Alzado de la pila de carbonización

Se inicia el proceso con la colocación de un poste vertical, que jugará un papel fundamental en la estructura del horno. Este poste, de una longitud de 2.14 metros, debe tener un diámetro que oscile entre los 75 y 80 mm, y se posiciona cuidadosamente en el centro de la pila de leña. Su propósito principal es actuar como una guía para la acumulación ordenada de la madera, asegurando tanto la estabilidad de la pila como el soporte necesario para el operador durante el proceso de tapa y encendido.

La parte más gruesa del poste se introduce en el suelo de forma vertical, enterrándose hasta alcanzar una profundidad adecuada que permita que, una vez montado el horno, el poste quede suspendido. Este ajuste da lugar a la formación de una abertura central, que funcionará como la chimenea, esencial para la ventilación y la salida de los gases generados durante el proceso de encendido.

Para garantizar que la estructura del horno se mantenga firme y estable durante la acumulación de la leña, se utilizan sostenedores alrededor del poste guía. Estos sostenedores, de aproximadamente un metro de longitud, se colocan en un ángulo que favorezca la rectitud del poste central, impidiendo cualquier movimiento lateral. Es crucial que estos sostenedores estén bien atados, de manera que la guía quede inmovilizada, permitiendo tanto el alzado adecuado de la leña como su correcta distribución en la pila. Con este sistema, se asegura que la pila de madera mantenga su forma y estabilidad hasta el momento del encendido, facilitando la posterior tarea del operador en el proceso de tapado con tierra y la creación del agujero superior necesario para encender el horno de manera eficiente.

3. Formación de las mesas

Una vez que el poste guía central está erguido y fijado en su lugar, comienza la construcción de la estructura del horno. Se procede a colocar las primeras ramas horizontales, las cuales se disponen una al lado de la otra constituyendo un círculo con la guía en el centro, formando lo que se conoce como "mesas". En la primera mesa, la leña se organiza sobre el suelo, rodeando el poste guía y los sostenedores. Es crucial que la disposición de la leña siga una orientación específica: la parte más gruesa de las ramas debe quedar hacia el centro, mientras que la parte biselada y más fina se coloca hacia periferia, cubriendo la cabeza del poste guía. Esta disposición facilita la correcta circulación de los gases calientes, que son esenciales para un proceso de combustión eficiente.

En las siguientes mesas, la disposición de la leña sigue un patrón similar al de la primera mesa pero formando un círculo de menor diámetro para formar un cono. En cada mesa se invierte el sentido de colocación de la rama, de manera que en la primera mesa la parte más gruesa de la rama se coloca hacia el centro, pero en la segunda mesa la parte más gruesa de la rama se coloca hacia la periferia. Esta orientación favorece la estabilidad del apilado y facilita que el calor se distribuya de manera uniforme durante el encendido del horno.

A medida que se construyen la segunda, tercera y mesas sucesivas, el poste guía se va suspendiendo progresivamente hasta alcanzar la altura necesaria. Este ajuste se realiza conforme se va armando cada mesa, permitiendo que la pila de leña crezca de forma escalonada y equilibrada.

Un aspecto clave en la construcción de la primera mesa es la colocación de maderas secas y finas alrededor del poste guía. Estas maderas tienen la función de garantizar que la combustión comience de manera adecuada cuando se encienda el horno. Al ser secas, arderán más rápido, ayudando a generar el calor necesario para iniciar el proceso de cocción o calentamiento. Este cuidado en la disposición de la leña y en la selección de las maderas finas es fundamental para asegurar un encendido eficiente y una combustión controlada a lo largo del proceso.



Figura 2. Conformación del horno en el sitio previamente seleccionado y acondicionado.

Una vez que las mesas iniciales de leña han sido correctamente dispuestas alrededor del poste guía, se continúa con el proceso de construcción del horno colocando ramas de manera inclinada sobre la periferia de las mesas. Estas ramas se disponen cuidadosamente de tal manera que se apoyan en los bordes de las mesas, formando una estructura más compacta y estable.

La inclinación de las ramas es clave para asegurar que se maximice la circulación de aire y los gases calientes dentro de la pila de leña. Al disponer las ramas en ángulo, se facilita la formación de una especie de "techo" natural sobre las mesas, que permite que el calor ascienda de manera más eficiente hacia el centro de la pila, ayudando a la combustión.

Además, la disposición inclinada asegura que el calor se distribuya de manera uniforme, evitando puntos fríos que podrían dificultar el encendido y la quema.

Las ramas inclinadas, colocadas de manera estratégica, también sirven como soporte adicional para las mesas inferiores, contribuyendo a mantener la estabilidad general de la estructura. A medida que se colocan más ramas, la pila de leña toma una forma cónica, que es típica en la construcción de hornos de este tipo. Esta forma no solo mejora la eficiencia del horno, sino que también optimiza el espacio para el almacenamiento de la leña y facilita el encendido al permitir que el aire fluya adecuadamente a través de la estructura.

Con cada capa de ramas colocada de forma inclinada, el horno gana en altura y estabilidad, preparando la base para la siguiente fase del proceso, que consistirá en tapar el apilado con tierra y crear el agujero superior para el encendido.

Toda la leña debe ser colocada de manera tal que no quede espacios vacíos colocando madera fina que garantice un buen enrase del horno y se cree un buen soporte para su recubrimiento con hierba y tierra.

4. Tapado de la pila de carbonización

El tapado del horno consta con dos fases fundamentales:

- **Enyerbe:** Este proceso se inicia de abajo hacia arriba, alrededor de todo el horno, debiendo tener la capa de hierba, paja o pasto grosero, a un espesor aproximado de 7 cm.
- **Aterrado o recubrimiento:** Para realizar el aterrado del horno la capa de tierra o arena se sitúa alrededor del horno para que posteriormente sea paleada sobre el mismo, cubriendo toda la hierba con una capa de aproximadamente 5 cm de espesor. Este debe comenzar a cubrirse desde abajo y hacia arriba.

El espesor de la cobertura que se coloca sobre la pila de leña varía en función de la lisura de la estructura de la madera, es decir, cuán uniforme y compacta haya quedado la pila tras el apilado de las ramas. En general, este espesor suele oscilar entre 10 cm y 20 cm, proporcionando una capa suficiente para asegurar que la combustión se desarrolle correctamente, sin que se escape calor o gases hacia el exterior. Esta capa debe ser aplicada de manera que cubra toda la estructura de leña, dejando solo las bocas de aire necesarias para el flujo de oxígeno que alimentará la combustión.

Una vez aplicada la cobertura, es importante realizar una revisión minuciosa para asegurarse de que todas las rajaduras o fisuras que puedan haberse formado en la capa de tierra sean selladas adecuadamente. Este paso es crucial, ya que las rajaduras pueden permitir la fuga de calor, lo que afectaría la eficiencia del horno. Además, es necesario comprobar que las bocas de aire, aquellas aberturas diseñadas para permitir el flujo de oxígeno, queden libres de obstrucciones, garantizando una buena circulación del aire y un encendido adecuado.

Cuando se trabaja con tierra nueva, especialmente si esta es árida, es fundamental que esta sea lo más fina posible para lograr una cobertura homogénea y bien sellada. En algunos casos, también se puede utilizar arena, que tiene propiedades similares a la tierra fina y facilita la formación de una capa más uniforme. Sin embargo, la tierra que se utiliza para este proceso no es indefinida. Después de varias aplicaciones en la quema de hornos, la tierra tiende a perder sus propiedades de aislamiento y se convierte en polvo debido a la exposición repetida al calor intenso. Por esta razón, la tierra utilizada debe ser reemplazada o mezclada con tierra nueva después de 4 o 5 usos para mantener su efectividad. Este proceso de "engordar" la tierra se logra incorporando tierra fresca para restablecer su consistencia, evitando que se vuelva demasiado fina o polvorienta, lo que reduciría su capacidad para soportar las altas temperaturas y para sellar adecuadamente la estructura del horno. Esta renovación periódica asegura que el horno siga funcionando de manera eficiente y que la cobertura continúe desempeñando su función de aislamiento y protección durante las fases de encendido y combustión.



Figura 3. Estado de la tierra tras un proceso de carbonización

Dentro de los cuidados que se deben tener con la tierra para tapar los hornos, se destacan:

- Cuando la tierra se encuentra muy seca, se tiene que rociar con agua hasta obtener el grado de humedad suficiente que permita espesar la misma para ser empleada en el tapado del horno, evitando así el deslizamiento de esta.
- Cuando la tierra esté muy mojada, debe extenderse para acelerar el secado de la misma hasta alcanzar las condiciones adecuadas para evitar su deslizamiento.

La tierra utilizada con la humedad requerida garantiza la seguridad del horno y la calidad del carbón. Antes de comenzar el encendido o la quema de un horno, debe dársele un periodo mínimo de reposo de 2 o 3 días a la capa de tierra. Esto permitirá que la hierba se asiente producto del peso de la tierra y esta a su vez se compacte evitando así entradas de aire.

El fin de la preparación del horno consiste en el corte de la leña en dimensiones más pequeñas, las cuales se utilizarán para cerrar la chimenea y sellar las bocas que se van

generando durante el proceso de construcción del horno. Estas piezas de leña son cruciales para asegurar que el horno mantenga una circulación de aire adecuada y para prevenir que el calor se escape antes de que la leña esté completamente quemada.

5. Encendido de la pila o inicio de la quema.

El encendido del horno se realiza preparando brasas, bien de carbón, petróleo y de leña bien seca. Este material se introduce por la parte superior de la chimenea, provocando así la combustión en la parte interna y el encendido.

Una vez que el horno se enciende, se observa un denso humo blanco saliendo por la parte superior. Este humo es una señal de que el fuego ha alcanzado la intensidad suficiente para que el proceso de quema comience de manera efectiva. En este momento, se procede a tapar la chimenea con trozos de leña, que a su vez se cubren con una capa de hierba y tierra, sellando así la estructura del horno. Esta cobertura no solo ayuda a mantener el calor dentro del horno, sino que también evita que el oxígeno entre de manera descontrolada, lo cual podría afectar la combustión.

El fuego, una vez encendido y con la chimenea sellada, comienza a moverse a lo largo de la estructura del horno, propagándose desde la parte superior hacia la base. Además, el calor se distribuye desde el centro hacia la periferia, asegurando que toda la leña se quemara de manera uniforme. Esta dinámica de quema es fundamental para que el proceso de carbonización se lleve a cabo correctamente.

Durante el proceso de carbonización, una vez que el horno ya está en marcha, se realizan orificios en la parte inferior del mismo, siempre en la dirección opuesta a los vientos predominantes. Estos orificios son cruciales, ya que permiten que los gases calientes asciendan por el interior del horno, entrando en contacto con la madera. A medida que los gases circulan, transmiten el calor a la leña, lo que provoca que el agua contenida en la madera se evapore gradualmente. Este paso es esencial para que la madera alcance la temperatura necesaria para comenzar a transformarse en carbón.

La carbonización avanza de manera ordenada, primero de arriba hacia abajo, a medida que la leña superior comienza a descomponerse. Simultáneamente, el proceso se extiende horizontalmente, asegurando que todas las capas de leña se sometieran a la misma transformación. Es fundamental vigilar los orificios en todo momento para asegurar que funcionen de manera uniforme. Esto se logra controlando cuidadosamente la corriente de aire que entra por las perforaciones, lo que garantiza una combustión constante y equilibrada. La correcta gestión de estos orificios es clave para que el proceso de carbonización se realice de manera eficiente y para producir carbón de buena calidad.

6. Proceso de la quema

El proceso de quema en el horno tiene una duración que generalmente varía entre 7 y 10 días, un tiempo que depende de varios factores fundamentales relacionados con la leña utilizada y las condiciones ambientales. Entre los aspectos más influyentes se encuentran la humedad de la madera, la especie de árbol de la que proviene, así como la cantidad y las dimensiones de la leña que ha sido empleada en el armado de la estructura del horno.

El contenido de humedad en la leña es uno de los factores más determinantes en la duración del proceso de quema. A mayor humedad en la madera, más tiempo se necesitará para que ésta se quemara completamente. Esto se debe a que el agua contenida en la madera debe evaporarse antes de que la madera misma comience a arder de manera efectiva. Por lo tanto, si las condiciones lo permiten, es recomendable orear la leña, es decir, dejarla secar al aire durante un período de tiempo antes de su uso en el horno. Este proceso de secado no solo reduce la humedad en la leña, sino que también incrementa la cantidad de carbón producido durante la quema, ya que la madera seca arde de manera más eficiente y genera un mayor rendimiento en términos de carbón.

Otro factor importante a tener en cuenta es la especie de árbol de la que proviene la leña. Las maderas más duras, como la de neem, suelen ser más pesadas y requieren más tiempo para quemarse completamente. Esto se debe a que la densidad de estas maderas es mayor, lo que significa que contienen una mayor cantidad de material que debe ser descompuesto y consumido en el proceso de quema. En este sentido, a medida que la madera se vuelva más pesada y dura, se incrementará proporcionalmente el tiempo necesario para su completa combustión.

Por lo tanto, el tiempo de quema no es un valor fijo, sino que está condicionado por una serie de variables que deben ser cuidadosamente consideradas. La estrategia de utilizar leña bien aireada y de elegir especies adecuadas para el proceso de quema puede influir significativamente en la eficiencia y en el tiempo total que se requiere para completar el proceso, logrando un rendimiento óptimo de la pila. A medida que la quema progresa, es necesario monitorear constantemente para asegurarse de que la combustión esté ocurriendo de manera controlada y que las condiciones sean las ideales para la producción de carbón de calidad.

7. Proceso de carbonización del horno

Como se ha comentado, la propagación de la combustión en el horno se realiza desde arriba hacia abajo. Se deben ir abriendo orificios en la medida que, por ellos, salga primero un humo blanco indicador del vapor de agua, después grisáceo, significando que la superficie de carbonización está aumentando y luego un humo de color azul indicando la formación de carbón en ese punto u orificio. En la medida que por los orificios (arreos) se observe presencia de carbón, estos se van cerrando y se abren otros

más, según la necesidad y el avance de la carbonización, hasta la finalización del proceso de pirólisis.

La cantidad de orificios dependerá de cómo este batiendo el viento y su velocidad, si hay mucho viento el número de estos orificios será menor que si hay poco viento. Esto es algo que el carbonero tiene que tener presente, ya que si abre pocos orificios la candela disminuye y se producirá mayor cantidad de tizos, y si abre muchos, entonces se provoca la combustión completa de la leña y por consiguiente no habrá carbonización.

La utilización de estos orificios de forma correcta permite que la entrada de aire haga tiro y corra la combustión hacia abajo y permita una carbonización uniforme. El tiempo transcurrido depende de la humedad de la leña, su grosor y tamaño del horno. En este punto se procede al tapado de los orificios, primero con césped o hierba fina, y más tarde con tierra.

Se da por terminado el proceso de carbonización cuando en el horno por todas las partes hay presencia de carbón.

8. Tratamiento de las bocas.

En el proceso de propagación de la pirólisis en el horno puede ocurrir que se formen aberturas o bocas y cañonazos por sobre presiones. Durante el proceso de carbonización de un horno, se tiende a formar las denominadas bocas, que son aberturas que se producen por combustión completa de la madera, mala colocación de la leña durante el apilamiento y poca nivelación del terreno, que produce achatamientos laterales. Un síntoma de la apertura de bocas es la producción de hundimientos o ablandamientos en el horno, por lo cual, tan pronto se observen los mismos, deben tomarse las medidas pertinentes para taparlos.

La aparición de bocas no resulta frecuente cuando el alzado del horno se ha llevado a cabo cuidadosamente, a no ser que se presenten condiciones anormales por vientos muy intensos u otras causas.

Cuando se forma la primera boca en el horno, el quemador nota que el fuego es más intenso en una dirección, lo que indica que la combustión está siendo más activa en esa área. Al identificar esto, debe abrir unos orificios, llamados arreos, en el lado opuesto para generar un tiro de aire que redirija el fuego hacia el lado contrario de la boca. Luego, se sella la parte donde se encuentra la boca con madera verde, lo que ayuda a equilibrar la quema, y se cubre nuevamente con hierba y tierra. Este proceso de tapado se realiza cuidadosamente con palas para evitar quemaduras accidentales, y así se continúa con el proceso de carbonización.

Para un control efectivo del proceso productivo, es necesario después de comenzar la quema del horno, preparar pedazos de madera o leñas para contrarrestar la acción de las bocas. Para el tratamiento de los hundimientos, se limpia la superficie del hundimiento sin llegar al carbón y se tapa el material previamente preparado.

9. Tratamiento de los cañonazos.

Los cañonazos son explosiones que se producen por acumulación de gases sobre la superficie de la pila durante el proceso de carbonización. Estas explosiones pueden eliminar la hierba y la tierra de la periferia, abriéndose por tanto bocas al horno, fundamentalmente a partir de la segunda mesa. La abertura de bocas en la estructura del horno requiere una intervención inmediata para evitar la combustión completa, lo que reduciría significativamente la producción de carbón vegetal.

El primer paso para controlar el efecto de estos cañonazos es inspeccionar cuidadosamente las bocas abiertas y sellarlas de manera adecuada. Para ello se tapa la periferia del horno, en especial por el lado donde el viento incide con más fuerza, ya que es en esa zona donde los cañonazos tienden a ser más frecuentes. Es importante no tapar completamente esta área, sino dejar una pequeña parte sin sellar, lo que facilita el escape de nuevos gases acumulados y previene la generación de nuevas explosiones. Sin embargo, no se debe tapar demasiado rápido, ya que esto podría provocar una nueva acumulación de gases y, por ende, más cañonazos.

Generalmente, los cañonazos ocurren durante la quema de la mesa superior. Una vez que se inicia la quema de la segunda mesa, los riesgos de apertura de bocas y la producción de cañonazos disminuyen considerablemente. Sin embargo, como medida preventiva, se puede tapar la parte contraria del horno de manera gradual, abriendo orificios con suficiente capacidad para permitir la expulsión de los gases de forma controlada.

Es recomendable tener en reserva materiales como hierba, tierra, agua y las herramientas necesarias para poder actuar rápidamente en caso de que se presenten problemas de acumulación de gases. Tener estos recursos a mano es esencial para asegurar que el proceso de quema se mantenga bajo control.

Después de carbonizar la mesa superior, otro problema que puede surgir son las piteras, que ocurren cuando la tierra y la hierba se hunden debido al calor. Estas se pueden detectar durante el día por el humo continuo que emana del horno y por la noche, cuando el humo adquiere un color azulado. El tratamiento para las piteras consiste en sellar las áreas afectadas con tierra y hierba, restaurando la cobertura para evitar que el humo escape de manera no controlada. De esta forma, se asegura que el proceso de carbonización siga su curso sin contratiempos, y el horno funcione de manera eficiente hasta que se complete la producción de carbón.

10. Enfriado del horno

Una vez terminada la carbonización se procede a enfriar el horno alrededor de 24 horas, para que este pueda completar la carbonización. Concluida esta operación, se retira la tierra con un peine de 7 u 8 ganchos para separar de ella el cisco y la hierba quemada.

Luego de retirada la tierra, se enfría, procediendo nuevamente a cubrir el horno con dicha tierra húmeda; doce horas después el horno se habrá enfriado y estará listo para extraer el producto terminado.

11. Extracción del producto (carbón vegetal)

Se recomienda la extracción del producto terminado en las primeras horas del día, comenzando siempre dicha operación por la parte contraria a la dirección de los vientos reinantes en ese momento. Cuando exista mucho viento no debe realizarse la extracción de carbón vegetal.

La extracción se realizará mediante el uso del gancho, comenzando de abajo hacia arriba, preferentemente en la profundidad que permita la candela. La extracción se hará en tramos de 2 a 2.5 m de ancho, continuando posteriormente alrededor de todo el horno. Se profundizará hacia el centro, en dependencia de cuando el carbón se encienda al hacer contacto con el aire, cuando esto suceda, se paraliza de la extracción, tapando de nuevo con tierra cribada el área que se haya removido.

El carbón vegetal extraído se criba con el peine y se acumula en forma de un cordón a una distancia no menos de 2 m de la base del horno. Los carbones que se incendian durante esta operación deben apagarse inmediatamente con tierra, se prohíbe refrescar el carbón con agua. La operación de extracción debe repetirse día a día hasta extraer todo el carbón vegetal logrado.

12. Envasado primario del carbón vegetal

Antes de proceder al envasado deberá eliminarse todas las impurezas y tizos. El llenado de los sacos se realizará mediante la utilización del peine y el jabuco. Con el peine se llena el jabuco, que después se vacía dentro del saco colocado en una trampa. La trampa está compuesta por un palo vertical que se clava en el suelo, del que suspende otro transversal provisto de ganchos donde se cuelga el borde de la boca del saco.

La boca del saco debe cerrarse con material apropiado, para que no introduzcan materias extrañas y no se pierda el carbón.

Además, se pueden usar sacos rehusados que estén limpios, sanos, no contaminados que no constituyan un riesgo para la calidad del producto.



Figura 4. Envasado del carbón vegetal después del proceso productivo.

13. Transporte y almacenamiento

Se puede emplear cualquier medio de transporte que garantice calidad y seguridad del producto. El transporte deberá realizarse en el menor tiempo posible, evitando que el producto permanezca a la intemperie. El carbón vegetal proveniente de las diferentes áreas productivas debe recepcionarse en una nave de almacenamiento. La nave de almacenamiento, cuyas dimensiones dependerán del nivel de producción y de los ciclos de transporte; deberá ser construida de materiales resistentes y tener una estructura que no permita la entrada de agua a la nave, para asegurar y proteger el producto.

Las cargas deben colocarse encima de palets, separadas del piso 10 cm y de las paredes de la nave a unos 0.50 m para la circulación del aire y las personas, evitando la absorción de la humedad por el producto almacenado.

Cada lote debe llevar su tarjeta de estiba correspondiente para facilitar la contabilización del carbón vegetal.

Además, tener un área independiente para almacenar los sacos rehusados pero que no constituya un riesgo para la calidad del producto (limpio, sano, no contaminado).

El almacén debe cumplir las medidas de almacenamiento de carga peligrosa y protección contra incendios. Además, se cumplirán las medidas establecidas en la Resolución 59/Logística de almacén.

14. Aspectos a controlar

Para garantizar la calidad del carbón vegetal desde el inicio del proceso de producción hasta su almacenamiento y venta, se deben cumplir una serie de registros y criterios específicos establecidos por las normas cubanas NC 580:2017 y NC-ISO 2859-2:2018. A continuación, se describen los principales aspectos que deben ser considerados:

- **Control de humedad:** Un aspecto clave es el control de la humedad del material, la cual no debe superar el 10%. Esto se debe registrar durante las inspecciones previas a la recolección de la biomasa y a lo largo del proceso de carbonización, para garantizar que se mantengan las condiciones óptimas para obtener un carbón de calidad.
- **Control del peso de los envases:** Cada envase en el que se almacene el carbón vegetal no debe superar los 20 kg, lo que asegura una manipulación adecuada y facilita su transporte. Este criterio es fundamental para mantener la calidad y seguridad en el manejo del producto final. Se deben realizar registros del peso de los envases en las distintas etapas del proceso, desde el embalaje hasta el almacenamiento, verificando que no se exceda el límite establecido.
- **Granulometría:** La granulometría del carbón vegetal se clasifica en tres clases, con especificaciones claras para cada una. Asegurarse de que cada clase cumpla con los rangos establecidos es esencial para garantizar la calidad del producto. Los registros deben ser exhaustivos para las tres clases de carbón:
 - Clase A: El diámetro debe estar entre 40 mm y 100 mm y el largo entre 40 mm y 250 mm.
 - Clase B: El diámetro debe ser de 10 mm a 39.9 mm y el largo entre 10 mm y 250 mm.
 - Clase C: Se considera cualquier carbón con un diámetro inferior a 0.9 mm, sin necesidad de especificar la longitud.

Estos registros deben realizarse durante el proceso de clasificación y almacenamiento del carbón vegetal para verificar que se ajusten a los parámetros establecidos.

- **Control de impurezas:** El carbón vegetal debe estar libre de impurezas, tales como paja, tierra, piedras, tizos o cualquier otra materia extraña. Es crucial realizar inspecciones visuales y físicas para detectar y eliminar cualquier tipo de contaminante que pueda afectar la calidad del carbón. Estos controles deben llevarse a cabo en todas las fases del proceso, desde la recolección hasta el almacenamiento final, con registros documentados que certifiquen la ausencia de impurezas en el producto.
- **Procedimientos de muestreo:** Para asegurar que las características del carbón vegetal se mantienen dentro de los límites establecidos, se debe seguir el procedimiento de muestreo por atributos según la norma NC-ISO 2859-2:2018. Esto implica la selección aleatoria de muestras representativas del lote de carbón

para evaluar las propiedades clave, como la humedad, el peso, la granulometría y la presencia de impurezas. Este procedimiento de muestreo garantiza que, incluso si no se inspeccionan todos los envases, se mantenga una calidad consistente y conforme a las especificaciones establecidas.

Los registros detallados y el cumplimiento de las especificaciones descritas por las normas cubanas son fundamentales para garantizar la calidad del carbón vegetal, desde su selección en el terreno hasta su almacenamiento. El control de humedad, peso, granulometría e impurezas, junto con el uso de procedimientos de muestreo adecuados, son herramientas clave para asegurar que el producto final cumpla con los estándares de calidad establecidos en la normativa vigente.

15. Cuantificación y rendimiento del proceso de carbonización

Una vez concluido el proceso, se procede a cuantificar la producción total a partir del conteo físico de los sacos de carbón envasados. Con el peso total de sacos producidos y la leña utilizada inicialmente, es posible conocer el rendimiento del producto, evaluar como el carbonero trabajó, así como la forma en que condujo y controló la carbonización.

El rendimiento se obtiene dividiendo el total de carbón producido en kg, entre la cantidad de leña utilizada. Esto permite conocer cuántos kg de carbón se pueden producir con una tonelada de madera.

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{Peso total de carbón (kg)}}{\text{Peso total madera inicial (t)}}$$

RESUMEN DE LAS BUENAS PRÁCTICAS PARA MITIGAR LOS RIESGOS EN LA CADENA PRODUCTIVA

- Selección de materias primas: Las especies recomendadas a utilizar especies leñosas locales como el neem, marabú, aroma o campana, entre otras. Estas presentan un buen balance entre densidad y contenido energético.
- Recolectar leña de manera sostenible, respetando los ciclos naturales de regeneración. Promover la reforestación para mantener el equilibrio ecológico.
- Condiciones de la leña: La leña debe estar seca (contenido de humedad menor al 20%), libre de impurezas y de tamaño uniforme para facilitar el apilamiento y la carbonización.
- Medir correctamente la leña.

- Ubicación adecuada para instalar el horno. Preferentemente en una zona elevada y bien ventilada para evitar acumulaciones de humo y garantizar la seguridad.
- Lograr un apilamiento lo más denso posible.
- Utilizar leña seca o saraza.
- Tapar el horno con el espesor de hierba y tierra requerido.
- Controlar el proceso dando el tiempo requerido de carbonización.
- Control del Proceso
 - Monitorear la temperatura y los colores del humo:
 - Humo blanco: Evaporación de agua.
 - Humo azul: Inicia la carbonización.
 - Humo transparente: Proceso completo.
- Enfriamiento: Permitir que el horno se enfríe completamente antes de abrirlo para evitar la combustión del carbón producido.
- En el envasado y almacenamiento
 - Utilizar sacos limpios y resistentes, asegurar que cada saco pese un máximo de 20 kg.
 - Mantener los sacos en una nave protegida de la humedad, con buena ventilación y sobre pallets.
 - Separar los lotes según la fecha de producción y realizar controles de calidad periódicos.
- Aspectos de Seguridad y Salud Ocupacional
 - Equipar a los trabajadores con guantes, mascarillas y ropa protectora.
 - Contar con extintores y un plan de emergencias en caso de incendios.
- Evaluación de la Producción
- Realizar una cuantificación del rendimiento:
- Dividir el peso total del carbón producido entre la cantidad de leña utilizada.
- Documentar el proceso para identificar áreas de mejora.
- Cumplimiento Normativo
- Adherirse a las normas cubanas vigentes, como la NC 580:2017, que especifica los criterios de calidad para el carbón vegetal.

- Garantizar que el contenido de humedad del producto final no supere el 10% y que cumpla con los parámetros de granulometría establecidos.
- Cumplir adecuadamente el enfriamiento del horno y extracción del carbón vegetal.

Guantánamo, con su riqueza forestal y diversidad de recursos naturales, ofrece un entorno único para la producción sostenible de carbón vegetal. Actualmente, se estima que la provincia contribuye significativamente a la producción nacional, generando alrededor de un 20% del carbón vegetal exportado.

La producción de carbón vegetal en Guantánamo representa una oportunidad para el desarrollo económico local, siempre que se lleve a cabo de manera sostenible y responsable. Siguiendo esta guía, los productores podrán optimizar sus procesos, mejorar la calidad del producto y contribuir al cuidado del medio ambiente.