

**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**Tesis de Grado**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
GESTIÓN AMBIENTAL**

**Tema:**

“DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LAS EMISIONES  
PRODUCIDAS EN LOS HORNOS ARTESANALES PARA ELABORACIÓN DE CARBÓN  
VEGETAL EN EL CANTÓN QUEVEDO.”

Autores:

Guillermo Gabriel Rosero Bustamante

Elvis Antonio Cabrera Casillas

Director de Tesis:

ING. MET. JORGE NEIRA M.

Quevedo- Los Ríos - Ecuador

**2011**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
ESCUELA DE INGENIERIA EN GESTIÓN AMBIENTAL**

Tesis de grado presentada al Honorable Consejo Directivo como requisito  
previo a la obtención del título de:

**INGENIERO EN GESTIÓN AMBIENTAL**

**“DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCION HORIZONTAL DE LAS  
EMISIONES PRODUCIDAS EN LOS HORNOS ARTESANALES  
PARA ELABORACIÓN DE CARBÓN VEGETAL EN EL CANTÓN  
QUEVEDO.”**

**APROBADA POR:**

-----  
ING. MET. JORGE NEIRA M.  
DIRECTOR DE TESIS

-----  
ING. JIMMY BRIONES M.  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

-----  
ING. ELIAS CUASQUER F.  
INTEGRANTE DEL TRIBUNAL

-----  
ING. RAFAEL GARCÉS E.  
INTEGRANTE DEL TRIBUNAL

2011  
Quevedo-Los Ríos-Ecuador

**LA PRESENTE INVESTIGACIÓN ES RESPONSABILIDAD  
EXCLUSIVA DE LOS AUTORES**

-----  
GUILLERMO GABRIEL ROSERO BUSTAMANTE

-----  
ELVIS ANTONIO CABRERA CASILLAS

## **CERTIFICACIÓN**

El suscrito Ing. Met. Jorge Neira Mosquera, docente de la **FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES** de la **UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**, certifica que los egresados **GUILLERMO GABRIEL ROSERO BUSTAMANTE**, **ELVIS ANTONIO CABRERA CASILLAS** realizó las actividades necesarias para la elaboración de la tesis de grado titulada “**DETERMINACIÓN DE LA DISTRIBUCIÓN HORIZONTAL DE LAS EMISIONES PRODUCIDAS EN LOS HORNOS ARTESANALES PARA LA ELABORACIÓN DE CARBON VEGETAL EN EL CANTÓN QUEVEDO**”, bajo mi dirección habiendo cumplido con todas las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

---

ING.MET. JORGE NEIRA M.  
**Director de Tesis**

## DEDICATORIA

*Quisiéramos dedicarle este logro en nuestras  
vidas*

*A Dios por darnos la vida y demostrarnos  
tantas veces su existencia, siendo siempre un  
principio y fundamento para salir delante de  
cada tropiezo.*

*A nuestros padres, gracias a su esfuerzo,  
apoyo y confianza porque sin ustedes este  
sueño nunca se hubiese cumplido.*

*A nuestros Hermanos, Abuelos y Tíos por el  
amor incondicional que siempre nos brindan.*

## AGRADECIMIENTOS

*Aprovechamos este momento irreplicable que nos brinda el final de esta tesis para hacer una reflexión por el sendero de la investigación y rendir un merecido homenaje a todas aquellas personas que nos ayudaron en este trayecto. Por ello, es para nosotros un verdadero placer utilizar este espacio para ser justo y consecuente con ellas, expresándoles nuestros agradecimientos.*

*A nuestras familias, gracias a su apoyo y amor incondicional, hemos llegado a realizar una de nuestras grandes metas, lo cual constituye la herencia más valiosa que pudiéramos recibir.*

*Ing. For. Antonio Véliz Mendoza, Decano de la Facultad de Ciencias Ambientales.*

*Ing. Met. Jorge Neira, Director de la Escuela de Ingeniería en Gestión Ambiental y Director de Tesis por los conocimientos que compartió con nosotros y especialmente por brindarnos su apoyo.*

*Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a los señores integrantes del tribunal de tesis Ing. Jimmy Briones, Ing. Rafael Garcés e Ing. Elías Cuásquer por su participación activa y compartir desinteresadamente sus amplios conocimientos y experiencia, tan importantes para la elaboración y el éxito de esta investigación.*

*Y a todas aquellas personas y amigos que hemos dejado de mencionar, y que en algún momento han estado dispuestos a ayudarnos cuando lo hemos necesitado.*

*Muchas gracias.*

## I. INTRODUCCIÓN

Se estima que el sesenta por ciento de toda la madera extraída en el mundo, se quema como combustible, sea directamente, o transformándola en carbón vegetal. La proporción de leña utilizada para la fabricación de carbón vegetal, puede estimarse, alrededor del 25 por ciento de la cantidad antes mencionada, o sea cerca de 400 millones de metros cúbicos por año. (Booth H.E. 1974)

El carbón vegetal, en los países en desarrollo, se usa principalmente como combustible doméstico, para cocinar y calefacción, pero es también un importante combustible industrial. Grandes cantidades se emplean en fundiciones y forjas; en la extracción y refinado de metales especialmente de hierro, y en otras numerosas aplicaciones metalúrgicas y químicas. Para los países en vía de desarrollo, abundantemente dotados de bosques, la exportación de carbón vegetal puede ser una industria provechosa. (Trossero, M.A, 1978.)

La producción de carbón vegetal en hornos artesanales libera a la atmósfera una cantidad de material particulado en suspensión el cual es considerado como uno de los contaminantes del aire más importantes en términos de sus posibles efectos sobre la salud de las personas. Estudios epidemiológicos evidencian la existencia de asociaciones significativas entre el nivel de la concentración de material particulado en el aire e impactos adversos en la salud (WHO, 2000).

Las partículas más finas son generalmente las que más contribuyen a estos efectos adversos, debido a su capacidad de ingresar más profundamente en los pulmones, alojándose allí y dañando los tejidos involucrados en el intercambio de gases. Mientras que los efectos del material particulado varían considerablemente dependiendo de su composición y distribución de tamaños, generalmente, la exposición al material particulado inhalable puede causar un aumento en la mortalidad de origen cardíaco y respiratorio, una reducción de los niveles de la

capacidad pulmonar en niños y adultos asmáticos y enfermedades crónicas de obstrucción pulmonar. (COMEAP, 1998, WHO, 2000).

Los efectos sobre la salud originados por estas causas, traen asociados aumentos en el ausentismo escolar, disminución de los días de actividad laboral y un aumento del número de consultas médicas o a las salas de emergencias por síntomas de asma y otras patologías respiratorias (COMEAP, 1998, WHO, 2000).

### **A. Justificación**

Actualmente existe preocupación por parte de las autoridades del ambiente, ya que han receptado un gran número de denuncias de comunidades afectadas, por tanto se cree que es efectiva la necesidad de un sustento técnico-científico que haga posible elaborar una herramienta de regulación para las actividades de elaboración de carbón vegetal.

Estudios previos han demostrado que la inhalación de partículas irrita la mucosa, pueden interferir principalmente el funcionamiento pulmonar, agravando la bronquitis crónica, la enfermedad constrictiva ventilatoria crónica, el enfisema pulmonar y el asma bronquial. (Timonen KI, Pekkanen J, Tiittanen P, Salonen Ro.(2002)

Según el informe de inspección numero 007 de la Dirección Provincial del Ministerio del Ambiente de Los Ríos, la precipitación de polvo gris sobre la superficie de los sectores cercanos a los hornos, provoca malestares respiratorios y frecuentes epidemias de gripe y tos especialmente en niños. También existe malestar en los conductores de los buses de transporte de pasajeros, porque el sitio ubicado en la vía a Babahoyo, entrada a Mocáche, les representa un peligro permanente de ocasionar accidentes de tránsito pues los niveles de visibilidad disminuyen drásticamente con el humo y emisiones de los hornos. (Informe de inspección N. 007, Agosto2009).

En la temática de investigación planteada, es necesario resaltar que se aplicará una estrategia metodológica para la obtención y procesamiento de datos sustentada en varias técnicas ya utilizadas en estudios similares junto con propuestas metodológicas innovadoras de los autores de la presente investigación, esperando contribuir en el ámbito investigativo.

## **B. Objetivo General**

Evaluar la distribución de las emisiones producidas en los hornos artesanales para elaboración de carbón vegetal en el cantón Quevedo, durante la época seca del año.

## **C. Objetivos Específicos**

- Identificar los procesos en la elaboración de carbón vegetal.
- Determinar las concentraciones de CO en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, mediante cálculos estequiométricos a partir de la cantidad de madera convertida en carbón (pirolisis).
- Medir la acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento.
- Determinar la visibilidad horizontal desde los focos emisores.
- Determinar el área de dispersión de las emisiones de CO mediante el modelo matemático de Gauss.
- Determinar un modelo mejorado de horno para la producción de carbón vegetal.

## D. Hipótesis

- H<sub>0</sub> La concentración de CO en el aire la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, calculada a través de métodos estequiométricos, pueden ser comparables con los estándares que establece la normativa.
- H<sub>1</sub> La concentración de CO en el aire la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, calculada a través de métodos estequiométricos, no pueden ser comparables con los estándares que establece la normativa.
- H<sub>0</sub> La acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento, en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, cumple con los estándares de calidad.
- H<sub>1</sub> La acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento, en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, no cumple con los estándares de calidad.
- H<sub>0</sub> El humo producido por la carbonera no afecta la visibilidad horizontal especialmente de conductores de vehículos.
- H<sub>1</sub> El humo producido por la carbonera si afecta la visibilidad horizontal especialmente de conductores de vehículos.
- H<sub>0</sub> El método de Gauss no es pertinente para el cálculo del área de dispersión de las emisiones de CO, en el caso de la zona afectada por las carboneras bajo estudio.
- H<sub>1</sub> El método de Gauss es pertinente para el cálculo del área de dispersión de las emisiones de CO, en el caso de la zona afectada por las carboneras bajo estudio.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### A. Marco Legal

#### 1. POLÍTICAS BÁSICAS AMBIENTALES DEL ECUADOR

El siguiente articulado abarca los aspectos principales de las Políticas Básicas Ambientales del Ecuador:

**Art. 1.-** Establécense las siguientes Políticas Básicas Ambientales del Ecuador:

15.- Reconociendo que se han identificado los principales problemas ambientales, a los cuales conviene dar una atención especial en la gestión ambiental, a través de soluciones oportunas y efectivas; el Estado Ecuatoriano, sin perjuicio de atender todos los asuntos relativos a la gestión ambiental en el país, dará prioridad al tratamiento y solución de los siguientes aspectos reconocidos como problemas ambientales prioritarios del país:

- La pobreza, (agravada por el alto crecimiento poblacional frente a la insuficiente capacidad del Estado para satisfacer sus requerimientos, principalmente empleo).
- La erosión y desordenado uso de los suelos.
- La deforestación.
- La pérdida de la biodiversidad y recursos genéticos.
- La desordenada e irracional explotación de recursos naturales en general.
- La contaminación creciente de aire, agua y suelo.
- La generación y manejo deficiente de desechos, incluyendo tóxicos y peligrosos.
- El estancamiento y deterioro de las condiciones ambientales urbanas.
- Los grandes problemas de salud nacional por contaminación y malnutrición.
- El proceso de desertificación y agravamiento del fenómeno de sequías.

- Los riesgos, desastres y emergencias naturales y ambientales.

16.- Reconociendo que se han identificado áreas geográficas en el Ecuador en las que existen problemas ambientales agudos, en las cuales es necesario concentrar especiales esfuerzos para solucionar dichos problemas; El Estado Ecuatoriano, sin perjuicio de atender todo el territorio nacional contribuyendo a solucionar problemas ambientales y procurando alcanzar la gestión adecuada que el país requiere, dará prioridad al tratamiento y solución de los problemas ambientales que afectan o amenazan a las siguientes regiones geográficas:

- Bosques de Nor – Occidente del país (prolongación del Bosque del Chocó, Esmeraldas).
- Ecosistemas de manglares en la Costa ecuatoriana.
- Bosques de las estribaciones exteriores de los Andes ecuatorianos.
- Selva amazónica ecuatoriana.
- Región del Archipiélago Galápagos.
- Golfo de Guayaquil.
- Ciudades de Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato, Esmeraldas, Santo Domingo de los Colorados, Quevedo, Babahoyo, Machala, Portoviejo y Lago Agrio (Nueva Loja).
- Zonas agrícolas andinas con importantes procesos erosivos.
- Sistemas lacustres.

**Art. 66.-** Se reconoce y garantizará a las personas:

27.- El derecho a vivir en un ambiente sano, ecológicamente equilibrado, libre de contaminación y en armonía con la naturaleza.

**Art. 276.-** El régimen de desarrollo tendrá los siguientes objetivos:

4. Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.

**Art. 397.-** En caso de daños ambientales el Estado actuará de manera inmediata y subsidiaria para garantizar la salud y la restauración de los ecosistemas. Además de la sanción correspondiente, el Estado repetirá contra el operador de la actividad que produjera el daño las obligaciones que conlleve la reparación integral, en las condiciones y con los procedimientos que la ley establezca. La responsabilidad también recaerá sobre las servidoras o servidores responsables de realizar el control ambiental. Para garantizar el derecho individual y colectivo a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, el Estado se compromete a:

2. Establecer mecanismos efectivos de prevención y control de la contaminación ambiental, de recuperación de espacios naturales degradados y de manejo sustentable de los recursos naturales.

## **2. LEY DE GESTIÓN AMBIENTAL**

El Art. 33 establece como instrumentos de aplicación de las normas ambientales los siguientes (TULAS, 2006):

- Parámetros de calidad ambiental,
- Normas de efluentes y emisiones,
- Normas técnicas de calidad de productos,
- Régimen de permisos y licencias administrativas,
- Evaluaciones de impacto ambiental,
- Listados de productos contaminantes y nocivos para la salud humana y el ambiente,

- Certificaciones de calidad ambiental de productos y servicios y otros que serán regulados en el respectivo reglamento.

### **3.TEXTO UNIFICADO DE LA LEGISLACIÓN AMBIENTAL SECUNDARIA**

#### **NORMA DE CALIDAD DEL AIRE AMBIENTE**

#### **LIBRO VI ANEXO 4**

#### **1 INTRODUCCIÓN**

La presente norma técnica es dictada bajo el amparo de la Ley de Gestión Ambiental y del Reglamento a la Ley de Gestión Ambiental para la Prevención y Control de la Contaminación Ambiental y se somete a las disposiciones de éstos, es de aplicación obligatoria y rige en todo el territorio nacional.

La presente norma técnica determina o establece:

- Los objetivos de calidad del aire ambiente.
- Los métodos y procedimientos a la determinación de los contaminantes en el aire ambiente.

#### **2 OBJETO**

La presente norma tiene como objetivo principal el preservar la salud de las personas, la calidad del aire ambiente, el bienestar de los ecosistemas y del ambiente en general. Para cumplir con este objetivo, esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en el aire ambiente a nivel del suelo. La norma también provee los métodos y procedimientos destinados a la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente.

### **3 DEFINICIONES**

Para el propósito de esta norma se consideran las definiciones establecidas en el Reglamento a la Ley de Prevención y Control de la Contaminación, y las que a continuación se indican:

#### **3.1 Aire**

O también aire ambiente, es cualquier porción no confinada de la atmósfera, y se define como mezcla gaseosa cuya composición normal es, de por lo menos, veinte por ciento (20%) de oxígeno, setenta y siete por ciento (77%) nitrógeno y proporciones variables de gases inertes y vapor de agua, en relación volumétrica.

#### **3.2 Chimenea**

Conducto que facilita el transporte hacia la atmósfera de los productos de combustión generados en la fuente fija.

#### **3.3 Combustión**

Oxidación rápida, que consiste en una combinación del oxígeno con aquellos materiales o sustancias capaces de oxidarse, dando como resultado la generación de gases, partículas, luz y calor.

#### **3.4 Condiciones de referencia**

Veinticinco grados centígrados (25 °C) y setecientos sesenta milímetros de mercurio de presión (760 mm Hg).

### **3.5 Contaminante del aire**

Cualquier sustancia o material emitido a la atmósfera, sea por actividad humana o por procesos naturales, y que afecta adversamente al hombre o al ambiente.

### **3.6 Contaminantes comunes del aire**

Cualquier contaminante del aire para los cuales, en esta norma, se especifica un valor máximo de concentración permitida a nivel del suelo en el aire ambiente, para diferentes períodos de tiempo.

### **3.7 Contaminante peligroso del aire**

Son aquellos contaminantes del aire no contemplados en esta norma pero que pueden presentar una amenaza de efectos adversos en la salud humana o en el ambiente. Algunos de estos contaminantes, pero que no se limitan a los mismos, son asbesto, berilio, mercurio, benceno, cloruro de vinilo.

### **3.8 Contaminación del aire**

La presencia de sustancias en la atmósfera, que resultan de actividades humanas o de procesos naturales, presentes en concentración suficiente, por un tiempo suficiente y bajo circunstancias tales que interfieren con el confort, la salud o el bienestar de los seres humanos o del ambiente.

### **3.9 Diámetro aerodinámico**

Para una partícula específica, es el diámetro de una esfera con densidad unitaria (densidad del agua) que se sedimenta en aire quieto a la misma velocidad que la partícula en cuestión.

### **3.10 Emisión**

La descarga de sustancias en la atmósfera. Para propósitos de esta norma, la emisión se refiere a la descarga de sustancias provenientes de actividades humanas.

### **3.11 Episodio crítico de contaminación del aire**

Es la presencia de altas concentraciones de contaminantes comunes del aire y por períodos cortos de tiempo, como resultado de condiciones meteorológicas desfavorables que impiden la dispersión de los contaminantes previamente emitidos.

### **3.12 Fuente fija de combustión**

Es aquella instalación o conjunto de instalaciones, que tiene como finalidad desarrollar operaciones o procesos industriales, comerciales o de servicios, y que emite o puede emitir contaminantes al aire, debido a proceso de combustión, desde un lugar fijo o inamovible.

### **3.13 ISO**

Organización Internacional para la Normalización.

### **3.14 Línea base**

Denota el estado de un sistema alterado en un momento en particular, antes de un cambio posterior. Se define también como las condiciones en el momento de la investigación dentro de un área que puede estar influenciada por actividades humanas.

### **3.15 Material particulado**

Está constituido por material sólido o líquido en forma de partículas, con excepción del agua no combinada, presente en la atmósfera en condiciones normales. Se designa como  $PM_{2,5}$  al material particulado cuyo diámetro aerodinámico es menor a 2,5 micrones. Se designa como  $PM_{10}$  al material particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 micrones.

### **3.16 Micrón**

Millonésima parte de un metro.

### **3.17 Monitoreo**

Es el proceso programado de coleccionar muestras, efectuar mediciones, y realizar el subsiguiente registro, de varias características del ambiente, a menudo con el fin de evaluar conformidad con objetivos específicos.

### **3.18 Nivel de fondo (background)**

Denota las condiciones ambientales imperantes antes de cualquier perturbación originada en actividades humanas, esto es, sólo con los procesos naturales en actividad.

### **3.19 Norma de calidad de aire**

Es el valor que establece el límite máximo permisible de concentración, a nivel del suelo, de un contaminante del aire durante un tiempo promedio de muestreo determinado, definido con el propósito de proteger la salud y el ambiente. Los límites permisibles descritos en esta norma de calidad de aire ambiente se

aplicarán para aquellas concentraciones de contaminantes que se determinen fuera de los límites del predio de los sujetos de control o regulados.

### **3.20 Norma de emisión**

Es el valor que señala la descarga máxima permisible de los contaminantes del aire definidos.

### **3.21 Olor ofensivo**

Es el olor, generado por sustancias o actividades industriales, comerciales o de servicio, que produce molestia aunque no cause daño a la salud humana.

### **3.22 Partículas Sedimentables**

Material particulado, sólido o líquido, en general de tamaño mayor a 10 micrones, y que es capaz de permanecer en suspensión temporal en el aire ambiente.

### **3.23 US EPA**

Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de América.

## **4 CLASIFICACIÓN**

Esta norma establece los límites máximos permisibles de concentraciones de contaminantes comunes, a nivel del suelo, en el aire ambiente. La norma establece la presente clasificación:

Norma de calidad de aire ambiente

a. Contaminantes del aire ambiente.

b. Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente.

- c. Planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire.
- d. Métodos de medición de concentración de contaminantes comunes del aire ambiente.
- e. De las molestias o peligros inducidos por otros contaminantes del aire.

## **5 REQUISITOS**

### **5.1 Norma de calidad de aire ambiente**

#### 5.1.1 De los contaminantes del aire ambiente

5.1.1.1 Para efectos de esta norma se establecen como contaminantes comunes del aire ambiente a los siguientes:

- Partículas Sedimentables.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 10 (diez) micrones. Se abrevia PM<sub>10</sub>.
- Material Particulado de diámetro aerodinámico menor a 2,5 (dos enteros cinco décimos) micrones. Se abrevia PM<sub>2,5</sub>.
- Óxidos de Nitrógeno: NO y NO<sub>2</sub>, y expresados como NO<sub>2</sub>.
- Dióxido de Azufre SO<sub>2</sub>.
- Monóxido de Carbono.
- Oxidantes Fotoquímicos, expresados como Ozono.

5.1.1.2 La Entidad Ambiental de Control verificará, mediante sus respectivos programas de monitoreo, que las concentraciones a nivel de suelo en el aire ambiente de los contaminantes comunes no excedan los valores estipulados en esta norma. Dicha Entidad quedará facultada para establecer las acciones necesarias para, de ser el caso de que se excedan las concentraciones de contaminantes comunes del aire, hacer cumplir con la presente norma de calidad

de aire. Caso contrario, las acciones estarán dirigidas a prevenir el deterioro a futuro de la calidad del aire.

5.1.1.3 La responsabilidad de la determinación de las concentraciones de contaminantes en el aire ambiente recaerá en la Entidad Ambiental de Control. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en la determinación de la concentración de contaminantes, tendrán como referencia a aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (*Code of Federal Regulations, Anexos 40 CFR 50*).

5.1.1.4 La Entidad Ambiental de Control deberá demostrar, ante el Ministerio del Ambiente, que sus equipos, métodos y procedimientos responden a los requerimientos descritos en esta norma. De existir alguna desviación con respecto a la norma, se deberá efectuar la debida justificación técnica a fin de establecer la validez, en uso oficial, de los resultados a obtenerse en la medición de concentraciones de contaminantes en el aire ambiente. La información que se recabe, como resultado de los programas públicos de medición de concentraciones de contaminantes comunes del aire, serán de carácter público.

5.1.1.5 La Entidad Ambiental de Control establecerá sus procedimientos internos de control de calidad y aseguramiento de calidad del sistema de monitoreo de calidad del aire ambiente en la región bajo su autoridad. Así mismo, la Entidad Ambiental de Control deberá definir la frecuencia y alcance de los trabajos, tanto de auditoría interna como externa, para su respectivo sistema de monitoreo de calidad de aire ambiente.

5.1.2 Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente

5.1.2.1 Para los contaminantes comunes del aire, definidos en 4.1.1, se establecen las siguientes concentraciones máximas permitidas. El Ministerio del

Ambiente establecerá la frecuencia de revisión de los valores descritos en la presente norma de calidad de aire ambiente. La Entidad Ambiental de Control utilizará los valores de concentraciones máximas de contaminantes del aire ambiente aquí definidos, para fines de elaborar su respectiva ordenanza o norma sectorial. La Entidad Ambiental de Control podrá establecer normas de calidad de aire ambiente de mayor exigencia que los valores descritos en esta norma nacional, esto si los resultados de las evaluaciones de calidad de aire que efectúe dicha Autoridad indicaren esta necesidad.

Partículas sedimentables.- La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$ ).

Material particulado menor a 10 micrones (PM 10).- El promedio aritmético de la concentración de PM<sub>10</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de cincuenta microgramos por metro cúbico ( $50 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico ( $150 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

Material particulado menor a 2,5 micrones (PM 2,5).- Se ha establecido que el promedio aritmético de la concentración de PM<sub>2,5</sub> de todas las muestras en un año no deberá exceder de quince microgramos por metro cúbico ( $15 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas, de todas las muestras colectadas, no deberá exceder sesenta y cinco microgramos por metro cúbico ( $65 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ), valor que no podrá ser excedido más de dos (2) veces en un año.

Dióxido de azufre (SO<sub>2</sub>).- El promedio aritmético de la concentración de SO<sub>2</sub> determinada en todas las muestras en un año no deberá exceder de ochenta microgramos por metro cúbico ( $80 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas

no deberá exceder trescientos cincuenta microgramos por metro cúbico (350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), más de una vez en un año.

Monóxido de carbono (CO).- La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder diez mil microgramos por metro cúbico (10 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) más de una vez en un año. La concentración máxima en una hora de monóxido de carbono no deberá exceder cuarenta mil microgramos por metro cúbico (40 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) más de una vez en un año.

Oxidantes fotoquímicos, expresados como ozono.- La máxima concentración de oxidantes fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de una hora, no deberá exceder de ciento sesenta microgramos por metro cúbico (160  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), más de una vez en un año. La máxima concentración de oxidantes fotoquímicos, obtenida mediante muestra continua en un período de ocho horas, no deberá exceder de ciento veinte microgramos por metro cúbico (120  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), más de una vez en un año.

Óxidos de nitrógeno, expresados como  $\text{NO}_2$ .- El promedio aritmético de la concentración de óxidos de nitrógeno, expresada como  $\text{NO}_2$ , y determinada en todas las muestras en un año, no deberá exceder de cien microgramos por metro cúbico (100  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La concentración máxima en 24 horas no deberá exceder ciento cincuenta microgramos por metro cúbico (150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) más de dos (2) veces en un año.

5.1.2.2 Los valores de concentración de contaminantes comunes del aire, establecidos en esta norma, así como los que sean determinados en los programas públicos de medición, están sujetos a las condiciones de referencia de 25 °C y 760 mm Hg.

5.1.2.3 Las mediciones observadas de concentraciones de contaminantes comunes del aire deberán corregirse de acuerdo a las condiciones de la localidad en que se efectúen dichas mediciones, para lo cual se utilizará la siguiente ecuación:

$$C_c = C_o * \frac{760 \text{ mm Hg}}{pbl \text{ mm Hg}} * \frac{(273 + t^{\circ}C) K}{298 K}$$

Donde:

*C<sub>c</sub>*: concentración corregida

*C<sub>o</sub>*: concentración observada

*Pbl*: presión atmosférica local, en milímetros de mercurio.

*t*<sup>°C</sup>: temperatura local, en grados centígrados.

### 5.1.3 De los planes de alerta, alarma y emergencia de la calidad del aire

5.1.3.1 La Entidad Ambiental de Control establecerá un Plan de Alerta, de Alarma y de Emergencia ante Situaciones Críticas de Contaminación del Aire, basado en el establecimiento de tres niveles de concentración de contaminantes. La ocurrencia de estos niveles determinará la existencia de los estados de Alerta, Alarma y Emergencia.

5.1.3.2 Se definen los siguientes niveles de alerta, de alarma y de emergencia en lo referente a la calidad del aire (Tabla 1). Cada uno de los tres niveles será declarado por la Entidad Ambiental de Control cuando uno o más de los contaminantes comunes indicados exceda la concentración establecida en la siguiente tabla, o cuando las condiciones atmosféricas se espera que sean desfavorables en las próximas 24 horas.

**Tabla 1.1.**

**Concentraciones de contaminantes comunes que definen los niveles de alerta, de alarma y de emergencia en la calidad del aire [1].**

<b>CONTAMINANTE Y PERÍODO DE TIEMPO</b>	<b>ALERTA</b>	<b>ALARMA</b>	<b>EMERGENCIA</b>
Monóxido de Carbono. Concentración promedio en ocho horas	15 000	30 000	40 000
Oxidantes Fotoquímicos, expresados como ozono. Concentración promedio en una hora	300	600	800
Óxidos de Nitrógeno, como NO <sub>2</sub> . Concentración promedio en una hora	1 200	2 300	3 000
Dióxido de Azufre. Concentración promedio en veinticuatro horas	800	1 600	2 100
Material Particulado PM10. Concentración en veinticuatro horas	250	400	500

Nota:

[1] Todos los valores de concentración expresados en microgramos por metro cúbico de aire, a condiciones de 25 °C y 760 mm Hg.

5.1.3.3 Cada plan contemplará la adopción de medidas que, de acuerdo a los niveles de calidad de aire que se determinen, autoricen a limitar o prohibir las operaciones y actividades en la zona afectada, a fin de preservar la salud de la población.

5.1.3.4 La Entidad Ambiental de Control podrá proceder a la ejecución de las siguientes actividades mínimas:

En Nivel de Alerta:

- Informar al público, mediante los medios de comunicación, del establecimiento del Nivel de Alerta.

- Restringir la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alerta para uno o más contaminantes específicos. Estas últimas acciones podrán consistir en limitar las actividades de mantenimiento de fuentes fijas de combustión, tales como soplado de hollín, o solicitar a determinadas fuentes fijas no reiniciar un proceso de combustión que se encontrase fuera de operación

En Nivel de Alarma:

- Informar al público del establecimiento del Nivel de Alarma.
- Restringir, e inclusive prohibir, la circulación de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de alarma. Esto podrá incluir en limitar el tiempo de operación para aquellas fuentes fijas que no se encontraren en cumplimiento con las normas de emisión.
- Suspender cualquier quema a cielo abierto.

En Nivel de Emergencia:

- Informar al público del establecimiento del Nivel de Emergencia.
- Prohibir la circulación y el estacionamiento de vehículos así como la operación de fuentes fijas de combustión en la zona en que se está verificando el nivel de emergencia. Se deberá considerar extender estas prohibiciones a todo el conjunto de fuentes fijas de combustión, así como vehículos automotores, presentes en la región bajo responsabilidad de la Entidad Ambiental de Control.
- Suspender cualquier quema a cielo abierto, e inclusive, proceder a combatir dichas quemas.

5.1.4 De los métodos de medición de los contaminantes comunes del aire ambiente

5.1.4.1 La responsabilidad de la determinación de las concentraciones de contaminantes comunes, a nivel de suelo, en el aire ambiente recaerá en la Entidad Ambiental de Control. Los equipos, métodos y procedimientos a utilizarse en la determinación de la concentración de contaminantes, serán aquellos descritos en la legislación ambiental federal de los Estados Unidos de América (*Code of Federal Regulations*).

## **B. Marco Teórico**

### **1. PROCESOS PARA LA ELABORACIÓN DE CARBÓN VEGETAL USANDO MÉTODOS ARTESANALES**

El carbón vegetal listo para su empleo por parte del consumidor implica una secuencia de pasos en su producción; cada etapa es importante y se debe completar el conjunto en perfecto orden.

#### **a. Qué es el carbón vegetal**

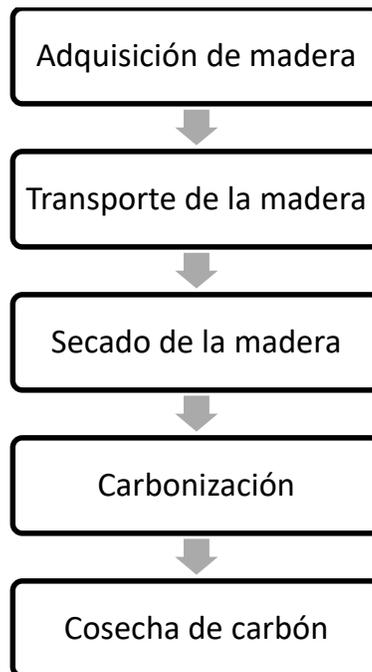
Carbón vegetal es el residuo sólido que queda de "carbonizar" la madera, o se la "hidroliza", en condiciones controladas, en un espacio cerrado, como es el horno de carbón. El control se hace sobre la entrada del aire, durante el proceso de pirólisis o de carbonización, para que la madera no se quemara simplemente en cenizas, como sucede en un fuego convencional, sino que se descomponga químicamente para formar el carbón vegetal. (FAO, 1983).

La leña (madera) es expuesta al aumento de temperatura en el interior de un horno con capacidad de controlar el paso del aire al interior, la madera pasa por un proceso de deshidratación, luego, con el aumento de la temperatura se descomponen la celulosa y la hemicelulosa. (Cordero, T. y col., 1989), (Zanzi R. y col., 1996). Las reacciones principales consisten en la ruptura de enlaces glicosídicos, consecutivamente la despolimerización parcial del componente

celulósico de la madera. Dando lugar a la reorganización de los átomos de carbón en estructuras microcristalinas tipo grafito formando un sólido como resultado de las uniones entre los átomos de carbón. (Dougall, Mc J.S., 1991)

**b. Pasos para la fabricación de carbón vegetal**

Los pasos para la elaboración de carbón vegetal se ajustan a la siguiente estructura.



1. *Adquisición de madera o leña*

En algunos sistemas de producción de carbón vegetal, es necesario el establecimiento de plantaciones forestales para el abastecimiento continuo de madera, si bien en una de las publicaciones de la FAO sobre los hornos para producción de carbón vegetal, detalla que la relación de conversión, madera seca en horno a carbón es de 5 a 1, o sea, que cada 5 t de madera seca produce 1 t de carbón. Si bien la madera empleada para el carbón puede a veces derivar de desperdicios de aserraderos o de operaciones de

limpieza de campos, al final ello no incide a largo plazo sobre la demanda de tierra forestal o de plantaciones para leña.

## 2. *Transporte de la leña*

El transporte de la madera desde el árbol que se encuentra en el bosque hasta un costado del horno o sitio para la carbonización, puede ser uno de los puntos más costosos en la operación, debido al peso de la madera, una vez convertida en carbón su peso es menor 4 veces a 16 veces que la madera, de ahí la importancia de hacer que el transporte del carbón empacado sea el que absorba la distancia más larga. Existen también maneras para mantener un equilibrio entre las distancias de transporte y costo/rendimiento del proceso de carbonización.

## 3. *Secado de la leña*

El rendimiento en carbón del proceso puede variar dentro de límites muy amplios dependiendo del tipo de madera, de su contenido en agua y de las condiciones en que se haya operado en la carbonización (tiempo de calentamiento y temperatura alcanzada). Es deseable que el contenido en humedad de la madera sea lo más bajo posible y, en cualquier caso, no superior al 15 - 20%. Dado que la madera fresca recién cortada contiene un 40 - 60% de agua se aconseja una desecación previa de la misma bien al aire, o por cualquier otro procedimiento. Si se parte de madera seca puede obtenerse un rendimiento entre el 25% y 33% de carbón vegetal. (Menéndez J.A. 2009)

## 4. *Carbonización*

El proceso de calentamiento de materiales orgánicos en ausencia de aire se denomina pirólisis o carbonización. Por lo general se utiliza el término

pirólisis cuando dicho proceso se enfoca a la obtención de los gases y aceites que se producen y carbonización cuando (como en el caso del carbón vegetal) el proceso se dirige hacia la obtención del producto sólido resultante (carbonizado). Durante carbonización de la madera se producen una serie de cambios químicos y pueden distinguirse tres fases claramente diferenciadas. En una primera etapa hasta alcanzar los 170 °C se produce fundamentalmente la deshidratación de la madera y la destilación de algunos aceites esenciales; unido todo ello a una pequeña degradación de la madera. Hasta los 270 °C hay un abundante desprendimiento de gases (CO<sub>2</sub> y CO principalmente) y de líquidos acuosos. En la última etapa hasta alcanzar la temperatura final en torno a los 600 °C, donde se produce la pirólisis o carbonización, propiamente dichas, el desprendimiento de sustancias volátiles es máximo. El residuo sólido resultante es el carbón vegetal. (Menéndez J.A. 2009)

## 5. Cosecha

Esta se realiza al cabo de 15 a 20 días después del armado del horno, este residuo sólido conocido comúnmente como “carbón” es extraído del horno mediante el uso de palas para luego ser clasificado y almacenado con el fin de ser comercializado.

## 2. CONSIDERACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE DISPERSIÓN

Los modelos de transporte y difusión de contaminantes son representaciones numéricas o físicas del comportamiento de gases o partículas en el aire. Los modelos de difusión permiten la determinación cuantitativa de la concentración de contaminantes emitidos a partir de fuentes fijas. (Allen, 1999)

Una definición básica, es que, consiste en expresar de forma matemática la concentración de los contaminantes emitidos desde una fuente. Los modelos más utilizados en la dispersión de contaminantes en el aire, se basan en la distribución de Gauss. Según la dispersión Gaussiana, existirá una región de mayor concentración y dos zonas simétricas en las que ésta irá disminuyendo paulatinamente hasta alcanzar un valor mínimo. (Patiño, 2007)

Un modelo de dispersión, estima la distribución espacial y temporal de contaminantes atmosféricos mediante representaciones matemáticas en donde se incluyen los diferentes factores que influyen en este proceso. De esta manera un modelo de dispersión permite evaluar la Calidad del Aire en una zona dada. (Patiño, 2007)

### **3. MÉTODOS PARA MEDIR CONCENTRACIONES DE PARTÍCULAS**

La masa de partículas en una unidad de volumen (o masa) se conoce como concentración de partículas. Existen varias maneras de expresar concentraciones de partículas en aire.

Las unidades usuales para expresar la concentración de pequeñas partículas suspendidas en aire son gramos de particulados por metro cúbico de aire. La concentración se determina aspirando un volumen conocido de aire a través de un filtro cuyo peso se ha determinado previamente, y pesando la cantidad de partículas que han quedado atrapadas. Para el polvo, que se compone de partículas más grandes que se sedimentan con rapidez, las mediciones se hacen colectando el material sedimentable en tarros de caída de polvo durante un tiempo específico y determinando el peso acumulado. La concentración se expresa entonces en peso recolectado por unidad de área durante un periodo determinado. Son ejemplos de estas unidades las  $t/m^2$  mes, o los  $kg/m^2$  mes.

#### 4. FACTORES QUE AFECTAN LA DISPERSIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AIRE

Los factores que afectan el transporte, la dilución y la dispersión de los contaminantes del aire se pueden clasificar, en general, en términos de las características del punto de emisión, la naturaleza del material contaminante, las condiciones meteorológicas y los efectos del terreno y las estructuras antropogénicas.

##### a. Características de la fuente

La mayor parte de los residuos industriales se descargan verticalmente al aire libre, mediante una chimenea o un ducto. Cuando la corriente de gas contaminado sale del punto de descarga, la pluma tiende a expandirse y mezclarse con el aire ambiental. El movimiento horizontal del aire tenderá a desviar la pluma de descarga a sotavento. En algún punto entre 300 y 3000 m a sotavento, la pluma de descarga se nivelará. Mientras la pluma de descarga sube, se desvía y comienza a moverse en una dirección horizontal, los residuos gaseosos se diluyen en el aire ambiente que los rodea. Cuando los gases contaminados se diluyen mediante volúmenes de aire ambiental cada vez mayores, al final se dispersan y bajan al suelo.

El ascenso de la pluma está influido tanto por la inercia hacia arriba de la corriente de descarga del gas como por su flotabilidad. La inercia vertical se relaciona con la velocidad de salida del gas y su masa. La flotabilidad, o fuerza ascensional de la pluma, se relaciona con la masa de aire que sale con respecto a la masa del aire que lo rodea. En general, al aumentar la velocidad de la salida o la temperatura del gas se incrementará el ascenso de la pluma. Este ascenso junto con la altura física de la chimenea se llama *altura efectiva de la chimenea*.

El ascenso adicional de la pluma, arriba del punto de descarga y mientras se desvía y se nivela, es un factor en las concentraciones resultantes al nivel del suelo y a sotavento. Mientras suba la pluma al principio habrá mayor distancia para diluir los gases contaminados mientras expanden, mezclan y bajan.

Con respecto a una altura de descarga y un conjunto de condiciones de dilución de la pluma específica, la concentración a ras de suelo es proporcional a la cantidad de materiales contaminantes descargados en la salida de la chimenea durante un periodo específico. Así, cuando las demás condiciones son constantes, un aumento en la tasa de descarga de contaminantes causará un aumento proporcional en las concentraciones a sotavento y a ras del suelo.

#### **b. Distancia a sotavento**

Mientras mayor sea la distancia entre el punto de descarga y un receptor a ras de suelo y a sotavento, mayor será el volumen de aire disponible para diluir la descarga de contaminante antes de que llegue al receptor.

#### **c. Velocidad y dirección del viento**

La dirección del viento determina el rumbo en que se moverá la corriente de gas contaminado a través del terreno local. La velocidad del viento afecta el ascenso de la pluma, así como la rapidez de mezclado o dilución de los gases contaminados desde que salen del punto de descarga. Un aumento en la velocidad disminuirá el ascenso de la pluma al desviarla con rapidez. La disminución en el ascenso de la pluma tiende a aumentar la concentración a ras del suelo. Por otro lado, un aumento de la velocidad del viento aumentará la rapidez de dilución de la pluma de la descarga, lo que tiende a disminuir las concentraciones a sotavento. En condiciones distintas, uno de los dos efectos de la velocidad del viento es el que predomina. Esos efectos, a su vez, afectan la distancia sotavento de la fuente a la cual se presentara la máxima concentración al ras de suelo

#### **d. Estabilidad atmosférica**

La turbulencia de la atmósfera no se apega a factor alguno en la disminución del poder de dilución. Mientras más inestable sea la atmósfera, mayor poder de dilución tendrá. Las inversiones que no son a ras del suelo, sino que comienzan a cierta altura sobre la salida de la chimenea, funcionan como tapaderas y restringen la dilución vertical.

### **5. INFLUENCIA DE LAS EMISIONES EN LA SALUD**

#### **a. Efectos en la salud de las personas**

Los efectos en la salud eran la consideración dominante en los primeros episodios de la contaminación del aire por razones obvias. Aunque con frecuencia no se podía identificar el contaminante (o grupo de ellos) específico que generaba los efectos observados, se disponía de información suficiente para implicar a ciertos contaminantes como contribuyentes significativos. Las investigaciones iniciales encaminadas a correlacionar las concentraciones y los efectos se enfocaron en estos contaminantes que se podían identificar con claridad.

El sistema respiratorio superior humano (nasofaríngeo) es muy eficiente para filtrar las partículas grandes del aire que respiramos. No obstante las partículas menores de  $5\mu\text{m}$  penetran hasta los pulmones y se depositan en los alveolos. El cambio de un estándar de materia particulada total en suspensión a un estándar PM10 en Estados Unidos en 1987, se dio como respuesta al mayor reconocimiento de que las partículas menores de  $10\mu\text{m}$  son un mejor indicador de los efectos potenciales de la contaminación del aire con materia particulada en la salud. Por ejemplo las partículas de humo e los cigarrillos miden menos de  $1\mu\text{m}$ , y entran y se depositan en los alveolos.

Ciertas partículas son especialmente dañinas porque absorben o adsorben gases que causan una irritación local más intensa. Además los gases penetran en los

huecos más profundos de los pulmones. Tanto las partículas como los gases que entran al cuerpo por el sistema respiratorio pueden afectar el sistema gastrointestinal. Ciertas sustancias químicas, como el plomo, entran en el torrente sanguíneo ya sea desde el sistema digestivo (por ingestión) o atravesando las membranas pulmonares (el sistema respiratorio), y el tritio que transporta el aire, los plaguicidas o herbicidas sistémicos, y algunas otras sustancias químicas pueden entrar al torrente sanguíneo por la piel.

Cada contaminante afecta el cuerpo humano de forma diferente, y se han reunido registros de efectos que correlacionan la intensidad con el periodo de exposición para diversos contaminantes.

La siguiente descripción de los efectos en la salud causados por la exposición a los principales contaminantes ha sido resumida del U.S. EPA Report 450-R-92-001 (1992).

Los efectos principales en la salud que son causa de preocupación incluyen los efectos en la respiración y el sistema respiratorio, el agravamiento de afecciones respiratorias y cardiovasculares ya existentes, la alteración de los sistemas de defensa del organismo contra materiales extraños, daños al tejido pulmonar, carcinogénesis y mortalidad prematura. Las personas con afecciones pulmonares o cardiovasculares crónicas obstructivas, influenza o asma, los ancianos y los niños son los más sensibles.

## **6. EFECTOS DE LAS EMISIONES EN LA VISIBILIDAD**

Las partículas en suspensión en el aire interfieren la transmisión de la luz dentro de la atmósfera. La dispersión y la absorción de la luz por parte de las partículas dan lugar a una degradación de la visibilidad que se manifiesta por una reducción de la distancia a la que podemos ver una imagen con el adecuado contraste y color. Pero también las partículas pueden dispersar la luz solar dentro de la

imagen causando una apariencia de imagen lavada, dando la apariencia de imagen brumosa con un color y brillo propio de una atmósfera libre de bruma.

Para las personas en general, estos efectos ópticos constituyen uno de los indicadores más absolutos de la presencia de contaminación en el aire. La visibilidad es también afectada por la nubosidad de origen natural, la niebla y la precipitación.

Los efectos sobre la visibilidad debidos a la contaminación atmosférica tienen lugar en dos escalas: *local* y *regional*.

Penachos localizados o nubes de contaminación pueden oscurecer la visibilidad, a causa de lo corto de su transporte en distancias muy próximas a su fuente de emisión, los efectos locales sobre la visibilidad vienen afectados fundamentalmente por partículas primarias. La contaminación de carácter regional puede llegar a extenderse por cientos de kilómetros y salvo cuando se produce por acciones de carácter natural (volcanes o tormentas de polvo) suele originarse a partir de partículas de tipo secundario. En ambos casos tienen la capacidad de ser transportadas desde decenas a cientos de kilómetros lejos de la fuente de origen y tienen la capacidad de permanecer en suspensión bastantes días.

#### **a. Desarrollo de mapas temáticos mediante el empleo de herramientas SIG**

Desde hace algunos años en Ecuador se emplean herramientas tecnológicas aceptadas por los lineamientos establecidos por la Agencia de Protección Ambiental (EPA) que es la entidad reguladora de contaminantes de los Estados Unidos, uno de los modelos de la EPA es el ISCST por sus siglas en Ingles 'Industrial SourceComplexSortTerm', el modelo fue desarrollado originalmente en los años 70, y desde entonces ha sufrido varias revisiones que han generado

nuevas versiones, que tienen su base en los modelos matemáticos gaussianos. (C. Teho& M. Torreblanza, 2003)

Para mejor análisis, interpretación y representación de los datos que arroje el modelo gaussiano que se aplica. Se emplean los Sistemas de Información Geográfica que permite la geocodificación de direcciones que permite crear mapas de puntos que muestren la ubicación de varios eventos a través de la dirección geográficas de ellos. Luego, el SIG permite realizar consultas y crear nuevos mapas temáticos de acuerdo a uno o más criterios de consulta. (C. Teho& M. Torreblanza, 2003)

Con la ubicación espacial de cada una de las fuentes emisoras, se puede obtener un mapa en que se aprecia además de la localización, la dispersión de contaminantes atmosféricos, según los resultados de la modelación. (C. Teho& M. Torreblanza, 2003)

## **7. MODELOS DE DISPERSIÓN**

### **a. Consideraciones generales y utilización de los modelos**

Un modelo de dispersión es una descripción matemática del proceso meteorológico de transporte y dispersión que se cuantifica en términos de parámetros de la fuente y meteorológicos durante un tiempo determinado. Los cálculos numéricos que resultan producen estimaciones de concentraciones del contaminante particular para lugares y tiempos específicos.

Los resultados numéricos de uno de esos modelos se comprueban obteniendo concentraciones reales medidas del contaminante atmosférico en particular y comparándolas con los valores calculados mediante técnicas estadísticas. Los parámetros meteorológicos necesarios para emplear los modelos incluyen la dirección del viento, su velocidad y la estabilidad atmosférica. En algunos modelos

se puede suministrar la inclusión del gradiente térmico y la altura vertical de mesclado. La mayor parte de los modelos necesitará datos sobre la altura física de la chimenea, su diámetro en el punto de salida, la temperatura y la velocidad del gas de salida y al tasa de emisión de contaminantes en unidades de masa.

En general, los modelos se clasifican en modelos a corto plazo o modelos climáticos. Los primeros se suelen aplicar en las siguientes circunstancias: 1) para estimar las concentraciones en el ambiente cuando no es practico tomar muestras, por ejemplo: arriba de ríos o lagos o a grandes distancias sobre el suelo; 2) para estimar las reducciones de emergencia necesarias en la fuente asociadas con periodos de calma del aire, en condiciones de alerta por algún episodio de contaminación de aires, y 3) para estimar los lugares más probables de concentraciones altas, a corto plazo y a ras de suelo, como parte de una evaluación para seleccionar el sitio de ubicación del equipo de monitoreo del aire.

Los modelos climáticos se aprovechan para estimar concentraciones medias durante largo tiempo o para considerar, durante largos periodos, concentraciones medias en determinados momentos del día para cada estación. Los modelos a largos periodos se aprovechan como auxiliar para comprender el transporte atmosférico a grandes distancias.

#### **b. Modelo básico de dispersión gaussiana de fuente puntual**

La ecuación básica de difusión de Gauss supone que la estabilidad atmosférica es uniforme en la capa en la que se descarga la corriente de gas contaminado. El modelo se supone que la difusión turbulenta es una actividad aleatoria y, en consecuencia, que la dilución de la corriente de gas contaminado en las direcciones horizontal y vertical se puede describir con la ecuación de Gauss, o de distribución normal.

Además en el modelo se supone que la corriente de gas contaminado se descarga en la atmósfera a una distancia sobre el nivel del suelo igual a la altura física de la chimenea más el ascenso de la pluma ( $\Delta H$ ). Se supone que el grado de dilución de la pluma de descarga es inversamente proporcional a la velocidad del viento ( $u$ ). Otra hipótesis es que el material contaminante que llega al ras del suelo se refleja en su totalidad hacia la atmósfera, como cuando un rayo de luz llega a un espejo formando un ángulo.

Matemáticamente, esta reflexión en el suelo se explica suponiendo una fuente virtual o imaginaria a una distancia  $-H$  con respecto al nivel del suelo, y que emite una pluma imaginaria con la misma concentración que la fuente real que se modela. La misma idea general se puede aplicar para establecer otras condiciones de capa límite para las ecuaciones, como por ejemplo: limitación del mezclado horizontal o vertical.

### **c. El modelo**

Un modelo de dispersión es una representación física o matemática de un evento de contaminación del aire. El proceso de analizar correctamente los efectos de una fuente requiere de la identificación de las condiciones meteorológica, topográfica y de emisiones presentes; seleccionar un modelo apropiado; adquirir los datos necesarios; correr el modelo; y evaluar los resultados. Los factores que se deben considerar al seleccionar el modelo influyen las complejidades meteorológica y topográfica del área, el nivel de detalle y exactitud necesarios, la competencia técnica de los modeladores, los recursos disponibles y lo detallado y la exactitud de los datos de los que se dispone.

Se debe tener cautela porque el mejor modelo no puede duplicar por completo las condiciones de campo, ni las condiciones ambientales y los valores resultantes pueden variar de manera considerable de las mediciones reales. Los modelos más utilizados son los de base gaussiana, los cuales son relativamente sencillos para

comprenderlos y utilizarlos, y han dado valores ajustados de modo razonable a los datos experimentales. (Allen, 1999)

*Modelo general Gaussiano de fuente puntual*

$$X(x, y, z; H) = \left[ \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z u} \right] \exp^* \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \left\{ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z-H}{\sigma_z} \right)^2 \right] + \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{z+H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right\}$$

Se ha seleccionado la ecuación del modelo en la forma que la presentó D.B. Turner y da como resultado la concentración a ras del piso ( $x$ ) del contaminante en un punto a sotavento de una chimenea de altura efectiva  $H$ . La desviación estándar de la pluma en las direcciones horizontales y verticales se representa con  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  respectivamente. Las desviaciones estándar son funciones de la distancia de la fuente, a sotavento, y de la estabilidad de la atmosfera. Para concentraciones calculadas a nivel del suelo ' $z$ ' es igual a '0' y por lo tanto la ecuación es:

$$X(x, y, 0, H) = \left[ \frac{Q}{\pi\sigma_y\sigma_z u} \right] \left[ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{y}{\sigma_y} \right)^2 \right] \right] \left[ \exp \left[ -\frac{1}{2} \left( \frac{H}{\sigma_z} \right)^2 \right] \right]$$

Donde:

$X(x, y, 0, H)$  = concentración a sotavento y al ras del suelo ( $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ )

$Q$  = tasa de emisión del contaminante ( $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$\sigma_y, \sigma_z$  = desviación estándar de la pluma (m)

$u$  = velocidad del viento ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ )

$x, y, z$  y  $H$  = distancias (m)

$\exp$  =  $e$  exponencial tal que los términos entre los corchetes que siguen de inmediato son potencias de  $e$ ; esto es  $e[ ]$ ,

donde  $e = 2.7182$

Los valores de  $\sigma_y$  y  $\sigma_z$  dependen de la estructura turbulenta o la estabilidad de la atmósfera.

## **8. TIPOS DE HORNOS MÁS UTILIZADOS PARA ELABORACIÓN DE CARBÓN VEGETAL**

Los hornos para elaborar carbón vegetal, son construcciones, en la mayoría de los casos, artesanales fabricados con materiales existentes en el sitio donde se obtiene la materia prima (leña), por lo general estos materiales pueden ser: ramas, hojas y recubiertos con tierra (como en países africanos) o aserrín de madera (Ecuador) colocados sobre una pila de trozos de leña grandes y pequeños. En sitios como Brasil y Argentina, tiene estructuras más elaboradas hechas de adobe, con formas de capsulas o media naranja.

### **a. Fosas de tierra para fabricar carbón vegetal**

La utilización de la tierra como escudo contra el oxígeno y para aislar la madera que se carboniza contra una pérdida excesiva de calor, es el sistema más antiguo de carbonizar. Aún en la actualidad se usa para hacer quizás más carbón vegetal que por cualquier otro método. Tiene su lugar por su bajo costo. Donde sea que los árboles crecen hay tierra, y es natural que el ser humano se haya orientado a este material barato e incombustible, como material aislante para encerrar la madera mientras se carboniza. (FAO,1983)

Hay dos modos diversos de usar la barrera de tierra en la fabricación de carbón vegetal: una es la de escavar una fosa, rellenarla de madera y taparla con tierra escavada para aislar la cámara. La otra es de tapar un montículo o pila (parva) de madera sobre el suelo, con tierra. La tierra viene a formar la barrera aislante impermeable a los gases necesarios, detrás de la cual puede tener lugar la carbonización sin infiltraciones de aire, que haría quemar el carbón hasta reducirlo en cenizas. Ambos métodos, cuando llevados a cabo con habilidad, pueden producir buen carbón vegetal dentro de sus limitaciones tecnológicas. (FAO,1983)

## 1. *El método de la fosa*

Para este método se necesita una capa de suelo profundo. Como depósitos aluviales de suelo liviano pueden normalmente encontrarse a lo largo de los bancos de un arroyo. Pueden hacerse fosas muy grandes con un ciclo de hasta tres meses para completarse. La inversión de capital es mínima; no se necesita nada más que una pala, un hacha y una caja de fósforos, pero es un método que desperdicia mucho los recursos y muy difícil controlar la circulación de los gases en la fosa.

Mucha madera se quema quedando en cenizas, porque le llega demasiado aire. Otra parte queda sólo parcialmente carbonizada, ya que nunca durante el quemado, se calienta y seca correctamente. A parte de las grandes variaciones en calidad, varían las sustancias volátiles, o el grado de carbonización para un carbón vegetal aceptable, porque la carbonización en una fosa comienza en una extremidad y progresa hacia la otra. De allí, el carbón del comienzo de la quema, habiendo sido calentado por más tiempo, tiene mucho menos sustancias volátiles que el carbón del otro extremo.

Un problema adicional con las fosas es la reabsorción del ácido piroleñoso tiende a condensarse en el follaje y en la tierra usados para tapar la fosa. Cuando caen fuertes lluvias viene lavado hacia abajo y absorbido por el carbón vegetal. Son la causa de la podredumbre de las bolsas de yute y el carbón cuando viene quemado, produce humo desagradable. Sin embargo, obreros hábiles, usando fosas no muy grandes, pueden hacer carbón vegetal de excelente calidad. El bajo costo de capital de este método hace que sea recomendable donde abunda la madera y los jornales son bajos.

## 2. *Fabricación de carbón vegetal mediante parvas*

La alternativa a excavar una fosa es la de apilar la madera sobre el suelo y cubrir la parva (montículo de leña) con tierra. Este también es un método muy antiguo y se usa ampliamente en muchos países, encontrándose con muchas variaciones al método fundamental. En algunos países se han realizado estudios para mejorar su diseño al máximo. (FAO,1983)

Es notable el trabajo que hace algunos años realizaron los suecos en esta materia. Esencialmente, el proceso es el mismo del de la fosa: la madera que debe ser carbonizada se encierra dentro de un involucro, cámara, impermeable al aire, hecho con tierra, que es un material accesible en cualquier parte donde crece la madera. Se prefiere la parva de tierra a la fosa donde el suelo es rocoso, duro o delgado, o donde la capa freática está cerca de la superficie. La parva es también más práctica en zonas agrícolas, donde las fuentes de leña pueden hallarse dispersas, y es deseable hacer el carbón vegetal cerca de los pueblos u otros emplazamientos permanentes.

La leña que será carbonizada en una parva puede también ser juntada sin apuro durante un lapso de meses, apilada en posición, haciendo que se seque bien antes de tapar y quemar. Ello va de acuerdo con la manera de vivir de un pequeño agricultor, quien puede juntar pedazos de madera, ramas y trazas y apilarlos con cuidado para formar el montón. Al cabo de algunos meses, según la estación, según los precios del carbón vegetal etc., recubre el montón con tierra y quema el carbón. Genera de esta manera un pequeño ingreso en efectivo, sin tener necesidad de un gasto inicial en moneda.

El sistema de parvas o de hornos de tierra es versátil. Se adaptan a la producción esporádica en pequeña escala de carbón vegetal y sin embargo

también se adaptan para la producción en gran escala. El sistema de la parva fue mejorado en Suecia con la investigación, y sus principales mejoras fueron, la optimización del sistema de las corrientes o flujos y el empleo de una chimenea externa para mejorar la circulación del gas.

En algunas partes de África se usan sistemas híbridos que contienen elementos de las parvas de tierra y de las fosas. Un montón rectangular de rollizos uniformemente troceados se apila sobre una tejedura de trazas cruzadas, que permite la circulación del gas. El volumen del apilado es generalmente de 5 – 8 metros cúbicos. El montón acabado viene luego sellado detrás de paredes de tierra hechas comprimiendo la tierra entre la madera apilada cubierta con hojas y una pared de sostén de varas o de tablas, retenidas con estacas. Se cubre la cabecera de la pila con hojas y con tierra, como en los sistemas de carboneras de fosa. Se deja una apertura en la pared lateral para iniciar la quema, y cuando este fuego ha prendido bien, se cierra la pared en la misma manera con tierra y con tablas. Se abren entradas de aire en la base de la parva y se usan para controlar el ritmo de combustión.

Se ha probado de hacer funcionar formas modificadas de este sistema en una mayor escala, usando equipos de remoción de tierra. Usando un buldócer se hacen rodar troncos grandes en una excavación no profunda y otras trazas se hacen rodar y amontonar. En la práctica, son frecuentes los bajos rendimientos de carbón de leña puesto que es difícil obtener una parva con un buen empaque, con grandes trazas rociadas sobre el lugar; la circulación del gas es errática y, como resultado, se tienen grandes cantidades de madera no carbonizada.

Un ulterior problema es que, a menos que se manejen bien las operaciones de los equipos pesados de movimiento de tierra con adecuado

mantenimiento y repuestos, los costos de operación tienden a escaparse de mano y toda la operación se vuelve antieconómica.

Por regla general, es difícil combinar equipos de elevado costo de inversión con un sistema tecnológicamente primitivo de quema de carbón vegetal, y esperar que la operación resulte beneficiosa en su conjunto, a menos que la calidad de la gestión sea de primera clase.

El problema de obtener y mantener, durante todo el período de quema, un sellado efectivo contra el aire, y una buena circulación, son los principales factores que limitan las dimensiones de los sistemas de fosa y parvas. Es difícil ubicar las infiltraciones sobre la cobertura y es difícil de repararlas en las fosas con parvas muy grandes.

### 3. *Horno Casamance*

La base se forma con dos estratos de madera de tamaño, pequeño a medio. Para la primera capa, la madera se distribuye regularmente y en forma radial alrededor del punto central de la base y, para el segundo estrato, la madera se ordena tangencialmente, cruzando el primer estrato. La base juega un papel importante, puesto que asegura la corriente de aire dentro de la parva las capas compuestas por trozas grandes (40 cm de diámetro) se distribuyen desde el centro hasta cerca de 50 cm de la extremidad de la base. Los trozos medianos (20 – 40 cm) los circundan y dan resistencia a la parva, recubriendo casi todo el remanente de la base.

El último anillo se compone esencialmente de madera corta (20 – 40 cm de diámetro) dispuestas sobre la extremidad externa de la base. El diámetro de la base varía con el volumen de la parva.

Para una parva de 30 m<sup>2</sup>, se necesita una base de por lo menos 3 m de radio. 90 m<sup>2</sup>, "4 m" y 100 m<sup>2</sup>, "5 m" El domo se cubre con pastos y arbustos y luego con arena o suelo franco. La chimenea Be coloca a un costado de la Dila, como se ve en el dibujo, con la apertura en su base conectada con la base de la parva. El sitio para la parva será limpiado con rastrillo, y deberán arrancarse las raíces y las cepas.

#### 4. *Parva sueca de tierra con chimenea*

La industria del carbón vegetal para siderurgia en Suecia llevó el diseño y el funcionamiento de grandes hornos del tipo de parvas a un gran nivel de perfección. Las principales mejoras fueron el uso de una chimenea externa conectada con un conducto construido debajo de la pila y la adopción de una base circular para la parva en el terreno, que redujo la pérdida de calor durante la carbonización y mejoró la circulación del gas.

Si bien estos hornos produjeron inicialmente muy grandes cantidades de carbón vegetal para la industria de la fundición del hierro, han sido superados en la elaboración de carbón para la industria siderúrgica, por los sistemas de hornos de ladrillo empleados en Brasil, Argentina y el sudeste asiático.

#### **b. Hornos de ladrillos**

Los hornos de ladrillos, contruidos y operados correctamente, representan sin duda uno de los métodos más efectivos para la producción de carbón vegetal. En el curso de varias décadas de uso, estos hornos han demostrado ser una inversión de capital moderada, requerir poca mano de obra y poder dar rendimientos sorprendentemente buenos de carbón vegetal de calidad apta para todos sus usos industriales y domésticos.

Hay muchos diseños para los hornos de ladrillos usados en todo el mundo, y la mayoría están en condiciones de dar buenos resultados. Estos son, el horno colmena brasileño, el horno argentino media naranja, el horno Schwartz de los europeos y el horno Missouri de los norteamericanos.

El primero, el segundo y el cuarto queman parte de la madera cargada, dentro del horno, para carbonizar el sobrante. El horno Schawartz usa la corriente de gas caliente de un fogón externo, pasado a través del horno, para generar el calor para el secado y para calentar la madera a fin de que inicie su carbonización. El horno Schwartz requiere considerable cantidad de acero para la grilla, puertas y soportes. Puesto que su rendimiento (cuando la leña es escasa) no es en la práctica superior al de otros, no puede ser recomendado para uso general en el mundo en desarrollo.

El cuarto tipo de horno, bien probado en la práctica, es el horno Missouri desarrollado y aún en uso en E.U. de N.A. Está hecho comúnmente de cemento armado o bloques perforados de cemento y tiene chimeneas y puertas de acero. Sus rendimientos son parecidos a los de las carboneras de Argentina y Brasil. Se completa con grades puertas de acero, que permiten el uso de equipos mecánicos para carga y descarga. Tiene dos desventajas para su empleo en el mundo en desarrollo: requiere una cantidad de acero y cemento en su construcción, siendo ambos materiales costosos y frecuentemente de importación, y no es tan fácil de enfriar como los otros hornos. Se adapta más, por lo tanto, a ser usado en climas templados más fríos donde los materiales y la capacidad para la construcción en acero y en cemento armado son accesibles, y la temperatura del ambiente permite un enfriado fácil. Es interesante donde se dispone fácilmente de mano de obra de motocargadores frontales, etc.

### **c. Hornos Metálicos**

En los años 30 se difundió en Europa, para la fabricación de carbón vegetal, el empleo de hornos metálicos cilíndricos transportables. Durante la Segunda Guerra Mundial su técnica fue desarrollada aún más por el Reino Unido (U.K) en su laboratorio de investigación de productos forestales (UK Forest Products Research Laboratory).

Diversas versiones del diseño original fueron usadas de una extremidad a otra en el Reino Unido. Esta tecnología fue transferida a los países en vía de desarrollo a fines de los años 60 especialmente con las actividades del Departamento Forestal de Uganda.

#### *1. Diseños disponibles de hornos metálicos transportables*

El Tropical Products Institute (TPI) que es una unidad científica de la Overseas Development Administration, ha adquirido considerable experiencia en el funcionamiento de diversos modelos de hornos transportables de metal, ya sea en el Reino Unido como en muchos países en desarrollo. El Instituto ha evolucionado hasta llegar a un modelo que se considera ahora ser óptimo en economía de construcción, robustez y durabilidad, funcionamiento sencillo con eficiencia y productividad máxima para las situaciones de los países en desarrollo.

Las principales características del horno modelo TPI son:

- Se usa una chapa de acero de 3 mm de espesor para fabricar la sección del fondo del horno; para la sección superior y para la tapa se usa chapa de acero de 2 mm de espesor.
- Las dos secciones principales del horno son cilíndricas.

- Se usan repisas con perfiles de hierro ángulo de 50 mm, para soportar la sección superior y la tapa. Estos soportes están soldados en la parte interna del borde más alto de las dos principales secciones cilíndricas.
- Los ocho tubos de entrada/salida, ubicados debajo de la sección inferior del horno, se abren en la base. Alrededor del hueco en la cara superior de cada canal, se ha previsto un collar para sostener la chimenea durante el funcionamiento del horno.
- En la tapa del horno hay cuatro bocas a igual distancia, para la liberación del vapor.

En otras versiones de hornos metálicos transportables pueden encontrarse varias modificaciones de las características anteriores. Algunos fabricantes de hornos usan chapa metálica de espesor menor del que recomienda el modelo TPI. Para asegurar al horno una vida máxima útil, especialmente cuando se lo hace funcionar con descuido, el espesor y el tipo de metal empleado en la fabricación del horno es de importancia fundamental. La sección inferior del horno está expuesta a las tensiones más grandes por el calor, y debería ser fabricada con lámina de acero de espesores a partir de los 3mm. Para la sección superior y para la tapa es suficiente un espesor de 2mm.

Un ulterior aumento de la durabilidad se obtendrá empleando en la fabricación del horno de acero con aluminio en lugar de acero dulce. Esta aleación especial tiene la propiedad de resistir al calor y la herrumbre. Su costo básico es de alrededor del 10 % mayor que el del acero dulce, pero puede ser más, donde fuesen necesarios acuerdos especiales para obtenerlo.

Un horno ampliamente usado en los bosques del Reino Unido, tiene una sección superior cónica, de modo que el diámetro de la tapa es

considerablemente menor del de la sección inferior. Se reduce con ello el peso de la tapa, el armado del horno resulta más fácil y se aumenta la rigidez de la sección superior, sin afectar el comportamiento del horno. Sin embargo, no se le usa en el modelo TPI, puesto que sería más difícil de construir la sección cónica en los pequeños talleres mecánicos que se encuentran en los países en desarrollo y limita además su movilización en terrenos de monte.

Los detalles del sellado entre las secciones son de importancia crítica. Un modelo de horno metálico usa canales en lugar de repisas para sostener la parte superior y la tapa. Estos canales están soldados en la parte interna del borde superior de ambas secciones, inferior y superior; se rellenan con arena durante el armado para crear un sello hermético al colocárseles encima la sección superior de la tapa. Los canales, sin rellenas retienen el alquitrán de madera que se condensa en las paredes del horno, y las elevadas temperaturas, que se alcanzan durante las últimas etapas de la carbonización, cuece la mezcla de alquitrán de madera con la arena, formándose un cemento duro, por lo que se requieren muchas horas de trabajo pesado para limpiar los canales después de cada jornada. Adentro las secciones a menudo se funden juntas después del enfriamiento, y las juntas se dan si se usan palancas de metal para separar las secciones.

Otra falla grave del modelo es el uso de una tapa de cierre superior, donde el sellado se obtiene por medio de una barra vertical soldada en la parte de abajo de la tapa. En el caso en que se observara una fuga en la junta entre la tapa y la sección superior, después que se ha encendido el horno sería sumamente difícil sellarla, puesto que ese tipo de tapa impide al fogonero de poner más tierra o arena en la junta. Estos problemas no surgen con el modelo TPI, ya que los hierros ángulos usados para soportar la sección superior y la tapa no retienen el alquitrán. Además, la colocación de la tapa

dentro del borde de la sección superior permite al operador de agregar a la junta más arena o tierra para el sellado, cómo y cuándo fuesen necesarios.

Algunos hornos metálicos usan, como canales de carga y descarga, tubos de sección cuadrada. Se ha hallado, en la práctica, que es más conveniente usar los canales de base abierta del diseño TPI. Ello es porque el alquitrán de madera, que se condensa en las chimeneas durante la carbonización, fluye abajo en los canales donde el calor lo cuece, formando una pasta dura. Cuando los canales tienen una base abierta, la mayor parte del alquitrán es absorbido por el suelo y lo poco que queda puede ser fácilmente eliminado por el libre acceso a las superficies inferiores. También, después de uso prolongado, las terminaciones de los canales de ingreso/salida, insertadas dentro del horno, se retuercen por el intenso calor localizado, generado en ese punto por el encuentro entre el aire y la carga. Si se ha usado una sección cuadrada para el canal, las caras superiores e inferiores se tuercen hacia adentro, lo que limita seriamente el flujo, del aire y del gas de descarga, a través del canal. Es difícil reconstruir su forma original, porque las superficies internas del tubo no son accesibles. Por otro lado, la distorsión de un canal de base abierta puede ser corregida fácilmente girándolo y enderezándolo con un martillo.

En algunos diseños, las chimeneas están inseridas en el canal por un agujero cortado en la superficie superior de este último. La base de cada chimenea tiene una pequeña sección cortada que permite el ingreso del humo desde el canal. Este tipo de encaje puede reducir la salida de los gases, si ocurriese una rotación accidental de la chimenea y además los canales no pueden ser limpiados fácilmente durante el funcionamiento del horno.

Todos los hornos metálicos transportables incorporan algún refuerzo para proteger el horno durante el manipuleo. Un refuerzo excesivo, sin embargo,

puede crear problemas, ya que aún los hornos más robustos pueden ser dañados, si se los descarga negligentemente del camión. Cuando se daña un horno fuertemente reforzado, se requerirá considerable trabajo para reponerlo en su forma original. Ello puede a veces hacerse usando un gato entre dos maderos largos, colocados atravesados al diámetro de la sección dañada. El refuerzo más importante que se recomienda, para los hornos metálicos, es el uso de una banda de hierro ángulo, soldada en forma continua alrededor de la parte externa del borde inferior de la sección de abajo. Con ello se tendrá un doble espesor de metal en el borde inferior del horno, donde las tensiones de calor son más severas. Ofrece también una superficie plana que distribuye el peso del horno en los canales de ingreso/salida.

Las repisas de apoyo de hierro ángulo, soldadas en el interior del borde superior de las secciones de la base y superior, ofrecen más refuerzo, que se completa con una tira plana soldada alrededor y adentro del borde inferior en la sección de arriba y de la tapa.

No todos los hornos incorporan en la tapa bocas para la liberación del vapor. Desde el encendido del horno, las grandes cantidades de vapor liberadas durante la fase inicial del proceso, deben irse. Si no hay bocas de liberación de vapor, debe quitarse la tapa antes del encendido y luego puesta en su lugar, apenas la carga comienza a quemar violentamente. Se puede también recargar el horno: el hundido natural de la carga da tiempo suficiente para que el vapor escape, antes que la tapa se asiente sobre el borde de apoyo. Los riesgos obvios que se presentan, con estos dos procedimientos, producen cierta ansiedad, en los cursos iniciales de entrenamiento de fogoneros con poca experiencia. Se ha hallado que, cuando se introducen los hornos metálicos en nuevas áreas del mundo en desarrollo, son mucho más preferidas las bocas de liberación de vapor. Otra ventaja está en la producción de carbón vegetal a partir de materia prima de

pequeñas dimensiones, como son los desperdicios y las cáscaras de coco. Para mantener una corriente suficiente de gas, a través de la carga durante la carbonización de estos materiales, se recomienda encender el horno, arriba, a través de las bocas de liberación de vapor en la tapa.

En fin, algunos hornos que se encuentran en el mercado, están equipados con aletas y tapas metálicas unidas con bisagras sobre los canales de entrada/salida, y que se usan para cerrar el ingreso del aire, dentro del horno, en el momento del sellado. Estos extras, aumentan el costo de la inversión de capital para el horno, y se ha hallado que son absolutamente innecesarios. Debido a la herrumbre, las tapas abisagradas no pueden ser usadas ya a los pocos días. El sellado puede obtenerse más efectivamente con el uso de tierra o arena. En algunos modelos, se incluyen manijas en el externo de las secciones cilíndricas del horno. Si bien las agarraderas son necesarias en las tapas del horno, ellas pueden crear problemas, cuando están en las secciones cilíndricas principales, en los momentos en que estas secciones tienen que rodar de un lugar a otro. Se ha hallado que los hornos pueden ser fácilmente maniobrados sin el uso de manijas en las dos secciones cilíndricas.

## 2. *Horno metálico para carbón vegetal hecho con tambores de aceite*

Puede fabricarse carbón vegetal en hornos hechos con tambores standard de 45 galones de aceite (aprox. 180 dm<sup>3</sup>). Este método ha funcionado bien, usando materia prima que quema rápido, como madera de palma de coco, cáscaras de coco y basura de madera. Sin embargo, cuando se hacen funcionar con latifoliadas densas, es difícil obtener una completa carbonización y el carbón resultante posiblemente tiene un elevado contenido de materia volátil. Aún con materiales de baja densidad, el contenido volátil del carbón vegetal producido es algo elevado, si bien no es un inconveniente serio para un combustible doméstico de uso local. Si el

carbón debe ser producido para la exportación, el uso, sin embargo, de hornos metálicos apropiados, hará que sea posible obtener la buena calidad exigida por el comercio.

Un hombre puede hacer funcionar un grupo de hasta 10 unidades de tambores de gasóleo. El proceso requiere un período de carbonización de alrededor de dos a tres horas, seguido por un período de enfriamiento de alrededor de otras tres horas. Un operador con experiencia puede reciclar diez tambores, dos veces por día, obteniendo una producción total de hasta 30 kg de carbón por cada tambor. Esto significa que la operación de un hombre, usando 10 hornos, puede producir 1,5 t de carbón vegetal en una semana de 5 días, si recibe el suministro de madera adecuadamente preparada.

Comparado con métodos tradicionales de producción la eficiencia de conversión obtenida con hornos de tambores de aceite, es comparativamente elevada, habiéndose citado rendimientos de hasta el 23% (sobre la base seca). La principal desventaja del método es que, para obtener resultados satisfactorios, la materia prima tiene que ser de un largo menor de 30 cm, con un diámetro máximo de 5 cm. Ello significa una considerable cantidad de mano de obra para la preparación de la materia prima. A veces es también difícil y caro obtener tambores de aceite usados. Los tambores tienden a quemar-se bastante rápidamente, por el metal delgado empleado, y tienen que ser reemplazados con relativa frecuencia.

### 3. *Ventajas y desventajas de los hornos metálicos transportables*

Las principales ventajas de los hornos metálicos transportables comparados con el método tradicional del foso o de la parva de tierra, son:

- La materia prima y el producto están dentro de un recipiente cerrado, permitiendo el máximo control de la entrada de aire y de la corriente de gases, durante el proceso de carbonización.
- El personal inexperto puede ser entrenado en poco tiempo y hacer funcionar con facilidad estas unidades.
- Se requiere menos supervisión del proceso, mientras que para la fosa o la parva, es necesario el cuidado constante.
- Puede obtenerse una eficiencia consistente, media de conversión del 24% incluyendo la carbonilla fina (sobre la base del peso seco). Las fosas y las parvas dan a menudo rendimientos erráticos inferiores.
- Puede aprovecharse todo el carbón obtenido en el proceso. Con los métodos tradicionales (fosa y parva) parte del carbón vegetal producido se pierde en el terreno, y el que se recupera está, a menudo, contaminado con tierra y piedras.
- Los hornos metálicos transportables, si son diseñados para descargar agua de la tapa, pueden funcionar en áreas con mucha lluvia, siempre que el sitio tenga un drenaje correcto. Los métodos tradicionales de producción de carbón vegetal, funcionan con dificultades en ambientes muy húmedos.
- Una mayor variedad de materias primas pueden ser carbonizadas con el máximo control del proceso, incluyendo coníferas, madera de desechos, madera de palma de coco y cáscaras de coco.
- El ciclo total de producción, cuando se usan hornos metálicos, es entre dos y tres días.

Las desventajas del empleo de hornos metálicos comparados con los métodos tradicionales de la fosa y de la parva de tierra, son:

- Debe conseguirse el capital inicial para pagar el costo de la fabricación de los hornos. Debe poderse disponer de habilidades y equipo para talleres mecánicos fundamentales y, a menudo, debe importarse el acero usado en la fabricación de los hornos.
- Cierta atención es necesaria en la preparación de la materia prima para facilitar el empaquetado y para una eficiencia máxima. La madera debe ser cortada o rajada a medida, y estacionada por un período de por lo menos tres semanas.
- Puede ser difícil trasladar los hornos portátiles metálicos sobre un terreno muy quebrado, si bien pueden pasar con facilidad pendientes más suaves.
- La vida útil de los hornos metálicos es de solo dos a tres años.

Las ventajas del uso de hornos transportables metálicos, comparados con instalaciones fijas, inclusive los hornos de ladrillos, son:

- Los hornos metálicos transportables pueden ser desmantelados con facilidad y con frecuencia, y hechos rodar sobre el terreno forestal para ir detrás de las extracciones comerciales de la madera, de los raleos de las plantaciones y de las operaciones de limpieza del terreno. Ello significa que puede evitarse el transporte complicado y caro de la madera a lugares centralizados de elaboración.

- El ciclo total de operación para esas unidades es de aproximadamente de una semana, mientras que para los hornos metálicos es de dos a tres días.

Las desventajas del empleo de hornos metálicos, comparados con hornos contruidos con ladrillos, son:

- El costo de fabricación de un horno metálico portátil es normalmente mayor de un horno construido con ladrillos de producción comparable, lo que se debe principalmente al costo de la materia prima. Cuando el acero tiene que importarse, se necesitan divisas. Para la fabricación y mantenimiento, se requieren, habilidad para trabajar las láminas de acero, y un taller.
- Gracias a la mayor aislación termal de las paredes del horno construido con ladrillos, una menor cantidad de la madera cargada se quema durante el proceso de carbonización y normalmente se obtiene una eficiencia de conversión levemente mayor de la que se tiene con los hornos metálicos transportables. Los hornos de ladrillos pueden carbonizar madera de gran diámetro y se requieren menos cortes transversales y de raja.
- No es factible la recuperación de subproductos con hornos metálicos transportables para carbón vegetal. Existen posibilidades de recuperar los alquitranes condensables, cuando se emplean hornos contruidos con ladrillos.
- En una situación de procesos centralizados donde funcionan baterías estáticas de hornos hechos con ladrillos puede proveerse más rápidamente supervisión operativa y apoyo logístico.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### A. Localización del Área de Estudio

El estudio de las emisiones de material precipitado producto de la elaboración de carbón vegetal se realizó en una de las zonas periféricas ubicada al Sur de la ciudad de Quevedo, en la vía a Babahoyo. Ubicado en la provincia de Los Ríos, Quevedo con un cielo parcialmente cubierto, tiene una temperatura promedio anual de 24,7 °C, adicionalmente 874,6 horas de sol promedio al año, alcanzando una humedad relativa promedio de 84 %, así como precipitaciones de 2027,8 mm de lluvia promedio anual, estos factores además generan la evaporación promedio mensual de 90,3 mm.

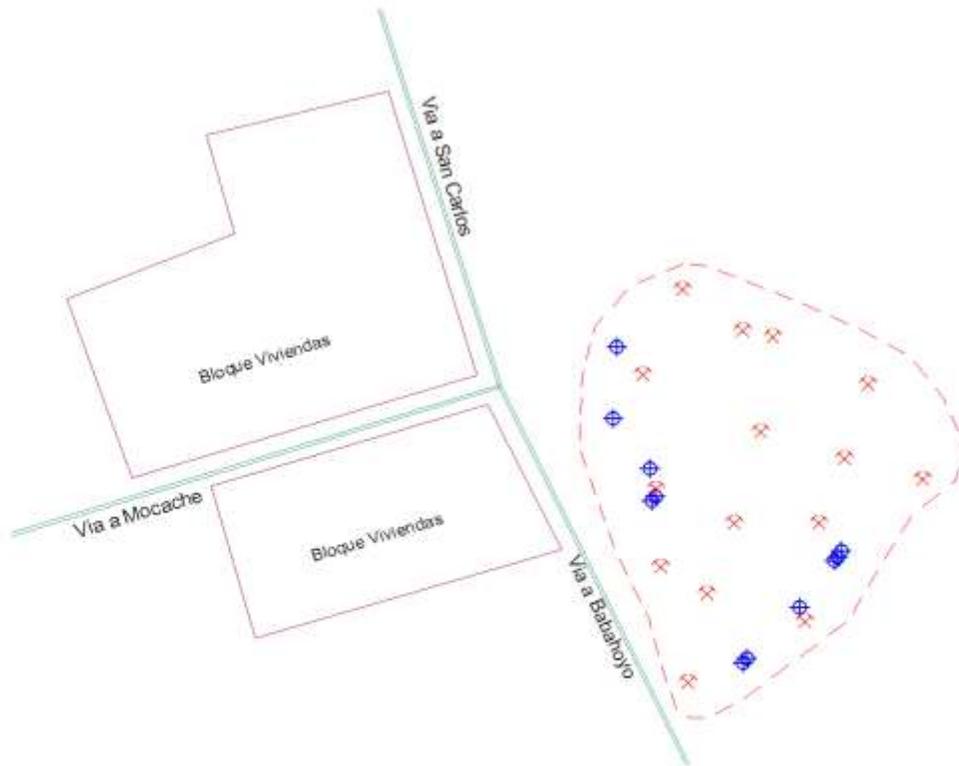
**Figura 3.1**





## DETALLE DE LA ZONA DE MONITOREO

- ✕ COLECTORES DE MATERIAL SEDIMENTARIO
- ⊕ VIVIENDAS AL INTERIOR DE LA CARBONERA



## **1. MATERIALES DE OFICINA**

- Ordenador e impresora con cartuchos de tinta color y negro
- Hojas blancas A4
- Cartas Topográficas – Escala 1:50000
- Software complementario para procesamiento de datos (SIG).

## **2. MATERIALES DE CAMPO**

- 2 Libretas de campo
- 1 Anemómetro
- 15 Colectores de material precipitado (cubos)
- Cinta métrica de 50 m
- 1 Cámara fotográfica
- 1 GPS (navegador)
- 15 estacas de madera
- 2 m. de liencillo
- Cinta adhesiva de papel
- 2 Marcadores permanentes
- 5 Globos 20 cm. de Ø
- 2 Bombas de vacío manuales
- 7 Estacas (Jalones) de madera

### **3. MATERIALES DE LABORATORIO**

- Balanza analítica
- Estufa
- Papel filtro
- Pipetas
- Vasos de precipitado
- Colectores
- Embudos de cristal
- Medidor de gases para fuentes móviles AVL-DICOM 4000

#### **B. Metodología**

##### **1. IDENTIFICACIÓN DE LOS PROCESOS EN LA ELABORACIÓN DE CARBÓN VEGETAL**

Se realizó por observación directa durante el armado de los montículos de madera para la elaboración de carbón vegetal. Se reforzó con la información obtenida de conversatorios con las personas que laboran en el oficio, esto sucedió en el transcurso de las visitas para socializar el proyecto e instalar los colectores para material precipitado y se documentó fotográficamente los procesos.

##### **2. DETERMINACIÓN DE LA CONCENTRACION DE CO MEDIANTE CÁLCULOS ESTEQUIOMÉTRICOS A PARTIR DE LA CANTIDAD DE MADERA CONVERTIDA EN CARBÓN (PIROLISIS)**

Para determinar las concentraciones de Monóxido de Carbono (CO), se tomó como punto de partida, a la cantidad estimada de carbón (C) contenida en la madera comúnmente utilizada como leña (semidura), luego se determinó la cantidad de moles por kg de "C" que contiene la madera y así mismo la cantidad de moles de Oxígeno (O) que se requiere para formar "CO", esto considerando

que la madera es quemada totalmente. Para fines de convertir la madera en Carbón Vegetal (Pirolisis), se considera un valor porcentual de "CO" que se libera en este proceso de conversión y la resultante es la cantidad de "CO" en unidades de masa que se libera a la atmosfera durante la conversión de una cantidad "x" de madera convertida a carbón.

Para determinar el valor porcentual de "CO" que se libera en este proceso de pirolisis, se recogió una muestra representativa de los gases que son liberados durante la carbonización, en un globo para luego ser estudiado mediante un analizador de gases.

### **3. DETERMINACIÓN DE LA ACUMULACIÓN HORIZONTAL DEL MATERIAL PARTICULADO PRECIPITADO (DEPOSICIÓN SECA) A DIFERENTES DISTANCIAS A SOTAVENTO**

Por lo general existen partículas de mayor tamaño como es el polvo y cenizas que precipitan más rápidamente debido a su peso, la concentración de este tipo de partículas se determinó mediante colectores de polvo ubicados a 30 cm del suelo y distribuidos en cuadrícula, de 50 m entre columnas y 50 m entre filas; luego el material colectado fue pesado y relacionado con el área en que se depositaron. Los datos resultantes fueron interpolados para determinar la cantidad de polvo acumulado cada 50 m hasta los 300 m desde el centro de la carbonera a favor del viento predominante.

### **4. DETERMINACIÓN DE LA VISIBILIDAD HORIZONTAL DESDE LOS FOCOS EMISORES**

Los niveles de visibilidad, fueron apreciados colocando estacas distanciadas a 20 m cada una y de forma paralela a la vía asfaltada, en condiciones de viento, en dirección: desde la vía hacia la carbonera, considerando que serían las mismas

condiciones cuando el viento estuviera en sentido contrario; todo con el propósito de simular las condiciones de viento cruzando de forma perpendicular a la vía.

## **5. CÁLCULO DEL ÁREA DE DISPERSIÓN DE LAS EMISIONES DE CO**

Para calcular el área de dispersión se empleó el modelo matemático de Gauss, el cual demanda de algunos datos como son: caudal de las emisiones, dirección del viento predominante y velocidad, clases de estabilidad atmosférica y temperatura atmosférica. Cada uno de estos datos fueron obtenidos en la estación meteorológica del INIAP Pichilingue y otros recogidos directamente en campo. Luego fueron procesados según lo establece el modelado matemático Gaussiano, para la obtención de un modelo final dispersión de CO.

## **6. DETERMINACIÓN DE UN MODELO MEJORADO DE HORNO PARA LA PRODUCCIÓN DE CARBÓN VEGETAL**

Se realizó un análisis comparativo del modelo usado actualmente con otros modelos existentes en regiones de amplia trayectoria en la producción de carbón, como lo es Argentina, se comparó el rendimiento en volumen de cargas y descargas, economía de implementación, operación y mantenimiento, y la compatibilidad con el ambiente. De esta forma se propuso, con suficientes argumentos, el modelo más apropiado para la elaboración de carbón vegetal en este medio.

## IV. RESULTADOS

### A. Identificación de los procesos para la elaboración de carbón vegetal

Tomando como base la más antigua técnica de investigación, es decir, la observación científica, fue posible identificar las principales características y los procesos que se desarrollan en el área bajo estudio, para la elaboración del carbón vegetal.

#### 1. MATERIA PRIMA

Como materia prima para la elaboración de carbón vegetal en las carboneras del área bajo estudio, comúnmente se utilizan los residuos de madera que genera la producción de palletes y, generalmente poseen formas cúbicas y alargadas (jampa), variándolos tamaños entre  $15 \times 15 \times 20 \text{ cm}^3$  y  $100 \times 15 \times 2 \text{ cm}^3$ . (Ver Figura 1).

**Figura 4.1.**

**Residuos de madera empleados en la producción de carbón vegetal en el área bajo estudio.**



Fuente: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

## 2. PREPARACIÓN DEL ESPACIO A OCUPAR POR EL HORNO

El espacio de terreno que se ocupa para la construcción del horno es variable, y depende de la cantidad de materia prima que se haya obtenido. Comúnmente en esta zona los hornos ocupan una superficie de 7 x 2 m<sup>2</sup>.

### 3. CONSTRUCCIÓN DE LA “CAMA” O BASE

Hecha con los cubos de madera más grandes que se consiguen de las paletas o a su defecto palletes inutilizables que sirven de base para una estructura de 1,50 m de altura, 2 m de ancho y 7 m de longitud; los cubos son colocados formando una malla de puntos distanciados 1m entre columnas (3 columnas) y 1m entre filas (8 filas), sobre la malla se cubos se colocan las jampas un extremo sobre un punto y el otro extremo sobre otro punto y sucesivamente hasta lograr que el apilamiento de las jampas y cubos no esté directamente sobre el suelo, permitiendo la ventilación al momento de la quema. Cuando se utiliza palletes se colocan formando 2 columnas y 8 filas (16 palletes, aprox.). (Ver Figura 2)

**Figura 4.2.**

**Construcción de la “cama” o base.**



Fuente: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

#### **4. APILAMIENTO DE MADERA SOBRE LA “CAMA”**

Una vez armada (construida) la base en su colocación, sea esta con cubos o palletes, se procede al apilamiento horizontal de las jampas formando dos columnas ordenadas en lo posible, hasta lograr la altura deseada (1,5 m). (Ver Figura 3).

**Figura 4.3.**

**Apilamiento de madera sobre la “cama”.**



Fuente: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

#### **5. CUBIERTA CON VIRUTA**

Cuando se culmina el apilamiento de la madera, sobre esta se coloca viruta hasta cubrir por completo la parte superior, evitando que los lados de la madera queden descubiertos, se procede colocando estacas verticales que sirven como columna para tablas y jampas que van superpuestas encajonando a la madera apilada, permitiendo de esta forma que la viruta quede atrapada entre el cajón y la pila de madera. ). (Ver Figura 4).

**Figura 4.4.**  
**Cubierta con viruta.**



Fuente: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

## **6. ENCENDIDO DEL HORNO**

En el paso anterior, antes de cubrir totalmente el pilo de madera a ser carbonizado, por uno de los dos extremos (longitudinal) se coloca material fácilmente inflamable en el espacio que quedó entre el suelo y la madera al inicio del armado de la “cama”. Se enciende el material inflamable y evitando que todo el horno arda, se termina de cerrar el horno con el cajón y la viruta. (Ver Figura 5).

**Figura 4.5.**  
**Encendido del horno.**



Fuente: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

## **7. MANEJO DEL HORNO**

Una vez encendido el horno, es importante garantizar que este no pierda su capa protectora de viruta a causa de la excesiva temperatura y filtraciones de aire que provoquen la combustión inmediata de la viruta, exponiendo al peligro de incineración el contenido del horno. En intervalos de 5 horas (aprox.), el horno es vigilado durante todo el tiempo de carbonización del contenido (3 semanas aprox.), que va a depender de las condiciones de humedad de la madera, el clima (humedad, temperatura y velocidad del viento). Generalmente, la viruta se humedece con agua, como medida de control del horno.

Una de las características del buen funcionamiento del horno, es la liberación continua de humo blanquecino de poco caudal (columna de 30 cm de diámetro, aprox.) y opacidad; en este caso se dice que las condiciones son normales. El buen manejo del horno; es procurar mantener estas condiciones. (Ver Figura 6)

**Figura 4.6.**  
**Manejo del horno.**



Fuente: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

## **8. EXTRACCIÓN DEL CARBÓN**

El horno permite la extracción continua de carbón desde la primera semana, cumplido este periodo, se procede a “escarbar”, retirar la viruta que cubre el horno con palas e instrumentos parecidos a los rastrillos pero con dientes más largos, de esta manera lo que resulta son trozos de madera carbonizada y restos de serrín, luego se separan el carbón del serrín con zarandas fabricadas con la madera que sirve como materia prima.

Luego los trozos de carbón que resultan de la zaranda son dispuestos sobre una lona hecha con saquillos, para después ser colocados dentro de sacos que son cosidos con aguja e hilo. Los sacos ya listos, son apilados y cubiertos con plástico para protegerlos de la humedad.

La actividad de extracción se realiza después de transcurrida una semana del proceso de carbonización, desde ese tiempo se lo realiza a diario hasta terminar de extraer todo el contenido del horno, que dura aproximadamente 15 días. (Ver Figura 7).

**Figura 4.7.**  
**Extracción del carbón.**



Fuente: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

**B. Determinación de las concentraciones de CO en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, mediante cálculos estequiométricos a partir de la cantidad de madera convertida en carbón (pirolisis)**

De acuerdo con la metodología referida en el Capítulo anterior del presente trabajo, los resultados obtenidos para las concentraciones de CO en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, mediante cálculos estequiométricos en la pirolisis, se presentan en la Tabla 4.1.

**Tabla 4.1.**  
**Concentraciones de CO en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, mediante cálculos estequiométricos a partir de la cantidad de madera convertida en carbón (pirolisis).**

<b>Globo</b>	<b>Masa (g)</b>	<b>Volumen (cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Densidad (g/m<sup>3</sup>)</b>	<b>CO (%)</b>
Azul	2,11	575,18	3668,40	1,300
Celeste	1,81	539,21	3356,74	0,530
<b>Promedio</b>	<b>1,96</b>	<b>557,20</b>	<b>3512,57</b>	<b>0,915</b>

Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

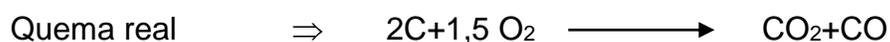
Los cálculos son los siguientes:

1 tonda madera  $\Rightarrow$  490 kg de Carbono

Ar(C) = 12

$$n(CO) = \frac{490 \text{ kg}}{12 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} * \frac{1000 \text{ g}}{1 \text{ kg}}$$

$$n(CO) = 40\,833,33 \text{ mol}$$



$$m(CO) = 1,143 \text{ t}$$

$$\frac{0,915}{100} \text{ de } 1,143 \text{ t} = 0,01 \text{ t}$$

= 10,46 kg de CO liberado cuando se hace carbón de una tonelada de madera

$$\text{Para } 18,56 \text{ t madera} / 12 \text{ d. horno} = 194,14 \text{ kg} / 12 \text{ d. horno}$$

$$\text{Para } 5 \text{ hornos} \Rightarrow 5 \text{ hornos} \left( 18,56 \frac{\text{t}}{12 \text{ d. horno}} \right) = 92,80 \frac{\text{t}}{12 \text{ d}} \Rightarrow$$

Para los 5 hornos y considerando los 12 días de trabajo del horno  $\Rightarrow$

$$\text{Flujo (CO)} = 0,93 \frac{\text{g}}{\text{s}} \left( \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \right) = 3371 \frac{\text{g}}{\text{h}}$$

$$m_{12 \text{ d}; 5 \text{ hornos}}(\text{CO}) = 970,95 \text{ kg}$$

$$12 \text{ d} = 12 * 24 = 288 \frac{\text{h}}{12 \text{ d}}$$

$$m_{8 \text{ h}; 5 \text{ hornos}}(\text{CO}) = 970,95 \text{ kg} \frac{8 \text{ h}}{288 \text{ h}}$$

$$m_{8 \text{ h}; 5 \text{ hornos}}(\text{CO}) = 26,97 \text{ kg}$$

$$A = \pi r^2 = \pi (300 \text{ m})^2 = 282744 \text{ m}^2$$

$$V = A h = 282744 \text{ m}^2 * 2 \text{ m}$$

$$V = 565486 \text{ m}^3$$

$$c_{8 \text{ h}; 5 \text{ hornos}}(\text{CO}) = \frac{26,97 * 10^9 \mu\text{g}}{565486 \text{ m}^3} = 47693,49 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} =$$

$$c_{1 \text{ h}; 5 \text{ hornos}}(\text{CO}) = \frac{47693,49 \mu\text{g}}{8 \text{ h}} \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$$

$$c_{1 \text{ h}; 5 \text{ hornos}}(\text{CO}) = 5961 \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3}$$

- H<sub>0</sub> La concentración de CO en el aire la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, calculada a través de métodos estequiométricos, pueden ser comparables con los estándares que establece la normativa.
- H<sub>1</sub> La concentración de CO en el aire la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, calculada a través de métodos estequiométricos, no pueden ser comparables con los estándares que establece la normativa.

Según el literal 4.1.2.1 de las Normas Generales para Concentraciones de Contaminantes Comunes en el Aire Ambiente, Anexo IV, Libro VI, del Texto

Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), que en su parte pertinente expresa«(...)La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder de diez mil microgramos por metro cúbico (10 000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) más de una vez en un año (...)».

No pueden ser comparables, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ )

**C. Medición de la acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento**

Los resultados obtenidos por la recolección del material precipitable en los 15 diferentes puntos del sitio muestreado se muestran en las Tablas 4.2 y 4.3.

**Tabla 4.2.**  
**Recolección del material precipitable (PM-10).**

No. Colector	Cantidad de Materia Precipitada (PM-10)					
	1ra.Semana (g/m <sup>2</sup> )	2da.Semana (g/m <sup>2</sup> )	3ra.Semana (g/m <sup>2</sup> )	4ta.Semana (g/m <sup>2</sup> )	Promedio (g/m <sup>2</sup> )	Promedio (mg/cm <sup>2</sup> )
1	63,54	8,61	3,89	0,39	19,11	1,91
2	5,50	3,54	2,28	2,04	3,34	0,33
3	3,93	0,75	3,73	1,65	2,52	0,25
4	2,79	3,18	1,85	1,30	2,28	0,23
5	3,42	0,00	3,54	0,43	1,85	0,18
6	6,52	4,36	9,20	2,75	5,71	0,57
7	0,00	4,48	0,71	4,01	2,30	0,23
8	30,77	29,32	18,59	10,85	22,38	2,24
9	0,00	11,87	1,69	9,43	5,75	0,57
10	3,34	10,22	1,18	0,87	3,90	0,39
11	4,83	5,66	6,33	1,65	4,62	0,46
12	14,54	10,89	5,34	9,90	10,17	1,02
13	4,56	7,51	5,58	2,44	5,02	0,50
14	4,40	13,05	5,27	2,16	6,22	0,62
15	10,65	4,95	5,82	2,44	5,96	0,60
<b>Promedio durante 30 días</b>					<b>6,74</b>	<b>0,67</b>

Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

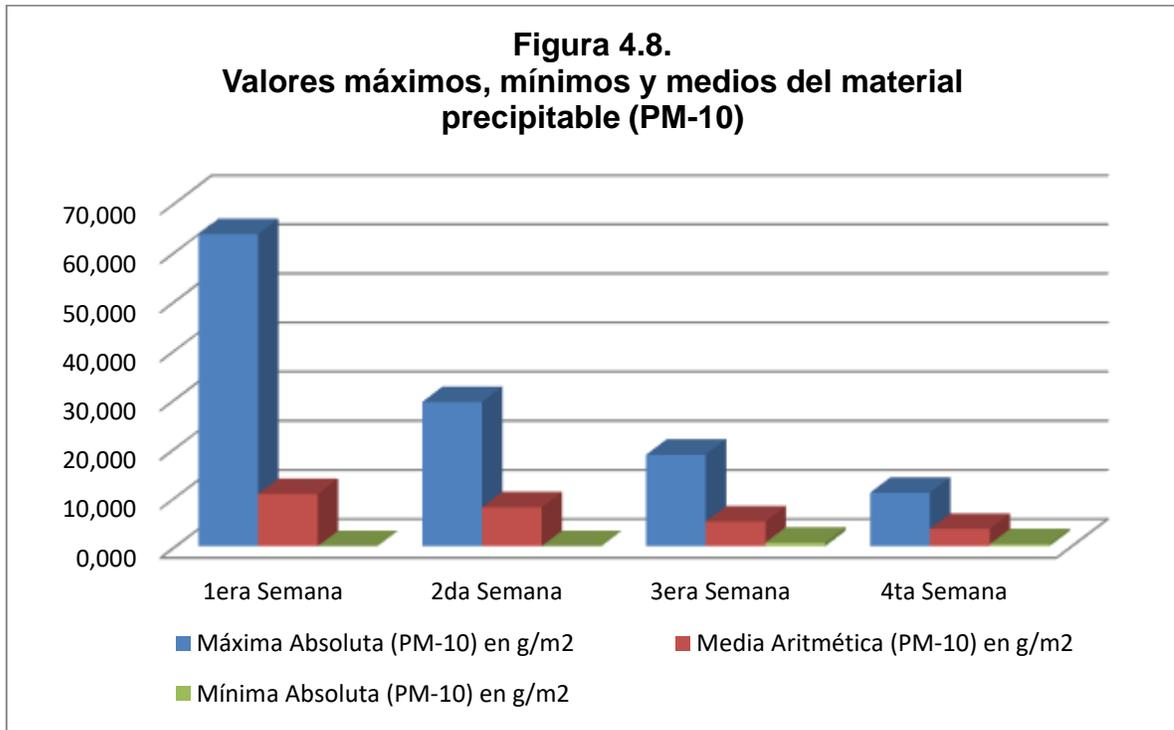
En la Tabla 4.3 y Figura 4.8 se presentan los valores máximos, mínimos y medios de material particulado depositado en los 15 colectores del sitio de monitoreo.

**Tabla 4.3.**

### Valores máximos, mínimos y medios del material precipitable (PM-10).

	1era Semana	2da Semana	3era Semana	4ta Semana
Máxima Absoluta (PM-10) en g/m <sup>2</sup>	63,544	29,316	18,588	10,846
Media Aritmética (PM-10) en g/m <sup>2</sup>	10,587	7,891	4,999	3,487
Mínima Absoluta (PM-10) en g/m <sup>2</sup>	0,000	0,000	0,707	0,393

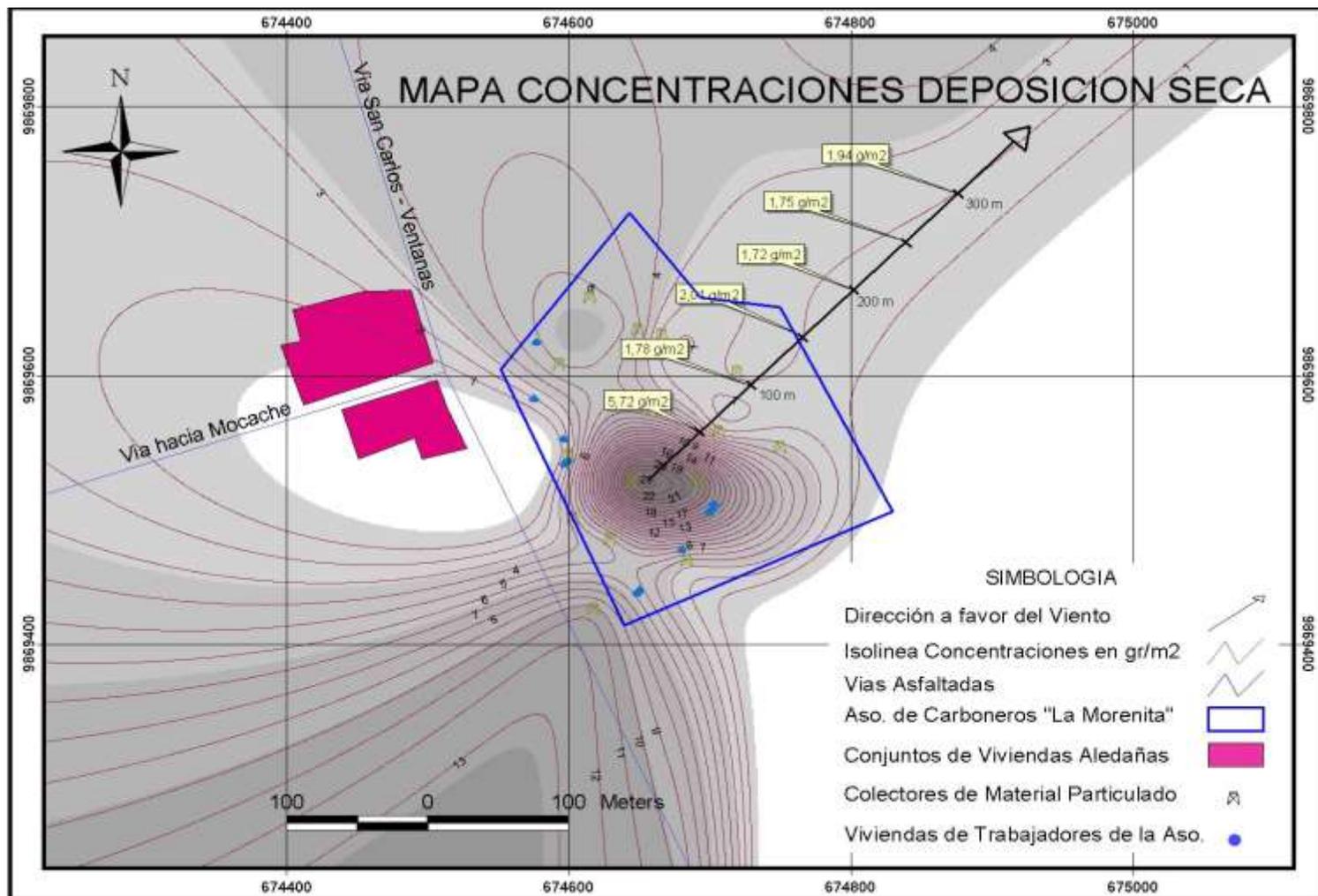
Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).



Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

Figura 4.9.

Mapa de concentraciones de deposición seca.



Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

- $H_0$  La acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento, en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, cumple con los estándares de calidad.
- $H_1$  La acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento, en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, no cumple con los estándares de calidad.
- Según el literal 4.1.2.1 de las Normas Generales para Concentraciones de Contaminantes Comunes en el Aire Ambiente, Anexo IV, Libro VI, del Texto Unificado de la Legislación Ambiental Secundaria (TULAS), que en su parte pertinente expresa: «(...) Partículas sedimentables.- La máxima concentración de una muestra, colectada durante 30 (treinta) días de forma continua, será de un miligramo por centímetro cuadrado ( $1 \text{ mg/cm}^2 \times 30 \text{ d}$ ). (...)»

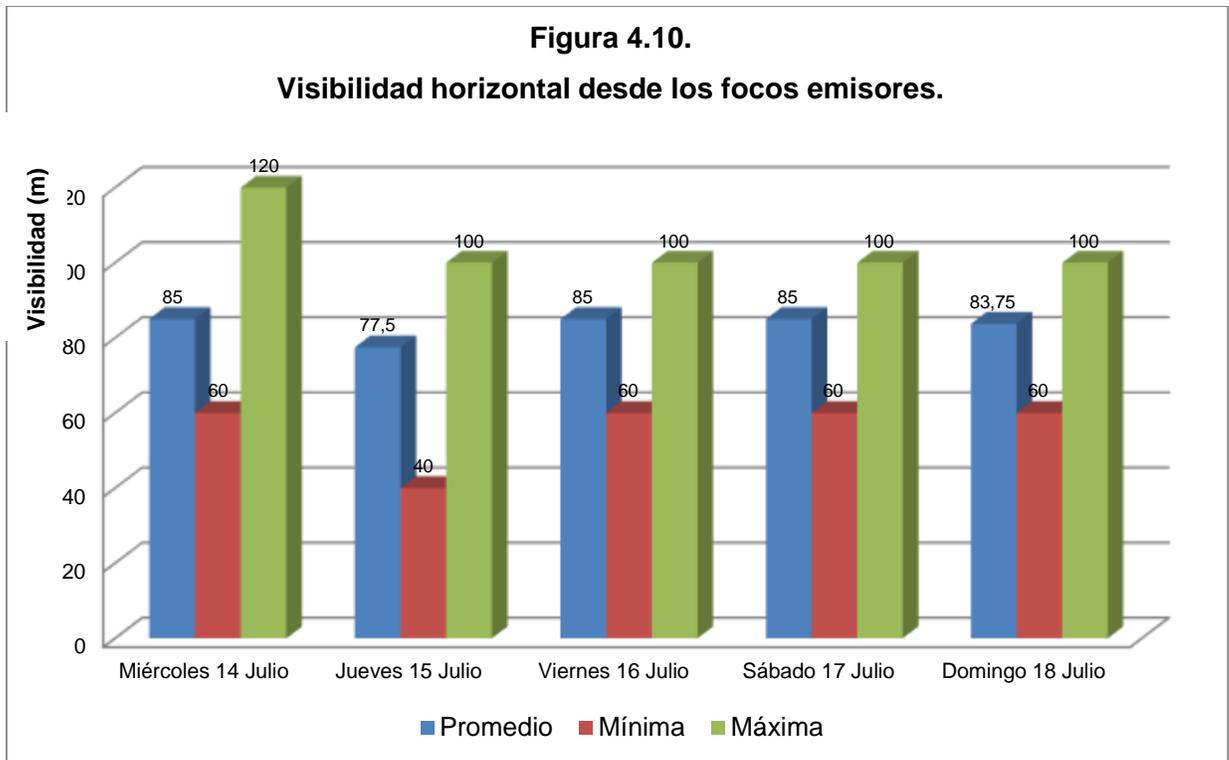
No se cumple con los estándares de calidad, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ )

D. Determinación de la visibilidad horizontal desde los focos emisores

Tabla 4.4.

Visibilidad horizontal desde los focos emisores.

Día 8/8 nublado											Promedi o metros
Hora	Miércoles 14 Julio		Jueves 15 Julio		Viernes 16 Julio		Sábado 17 Julio		Domingo 18 Julio		
	PuntoRefere .	Distancia (m)	Punt. Refer.	Distancia (m)	Punt. Refer.	Distancia (m)	Punt. Refer.	Distancia (m)	Punt. Refer.	Distancia (m)	
10:10	4	80	4	80	5	100	5	100	5	100	92
10:20	3	60	5	100	6	120	5	100	5	100	96
10:30	4	80	5	100	3	60	4	80	3	60	76
10:40	5	100	4	80	3	60	4	80	5	100	84
10:50	3	60	2	40	5	100	4	80	4	80	72
11:00	6	120	4	80	5	100	5	100	3	60	92
11:10	3	60	4	80	5	100	4	80	3	60	76
11:20	4	80	4	80	4	80	4	80	4	80	80
11:30	4	80	4	80	4	80	4	80	4	80	80
11:40	6	120	3	60	4	80	4	80	3	60	80
11:50	5	100	4	80	5	100	5	100	4	80	92
12:00	3	60	3	60	3	60	3	60	2	80	64
12:10	4	80	5	100	3	60	4	80	5	100	84
12:20	5	100	3	60	3	60	4	80	5	100	80
12:30	6	120	4	80	6	120	5	100	5	100	104
12:40	3	60	4	80	4	80	4	80	5	100	80
<b>Promedio</b>		<b>85,00</b>		<b>77,50</b>		<b>85,00</b>		<b>85,00</b>		<b>83,75</b>	<b>83,25</b>
<b>Mínima</b>		<b>60</b>		<b>40</b>		<b>60</b>		<b>60</b>		<b>60</b>	<b>72</b>
<b>Máxima</b>		<b>120</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>		<b>100</b>	<b>104</b>



Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

En la Tabla 4.4 y Figura 4.10 se presentan los resultados relacionados con la visibilidad desde los focos emisores. El sistema de estacas utilizado, según se explicó en la metodología, y que rinde valores discretos en cuanto a distancias o número de estacas a la vista, estableció un máximo de visibilidad de 120 y un mínimo de 40 m, es decir, entre un 100 y 33,33% de visibilidad, según los datos correspondientes.

La visibilidad media en días nublados estuvo entre los 77,50 y los 85,00 m, lo que implica entre un 64,58 y un 70,83%, lo cual pudiera traducirse en dificultades visuales para los conductores de vehículos automotores y para la población en general.

- $H_0$  El humo producido por la carbonera no afecta la visibilidad horizontal especialmente de conductores de vehículos.
- $H_1$  El humo producido por la carbonera si afecta la visibilidad horizontal especialmente de conductores de vehículos.

Analizando la tabla 4.4. se obtiene una visibilidad máxima absoluta de 120 m, mínima absoluta de 40 m, valores que no garantizan una visibilidad adecuada para los conductores de vehículos, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa ( $H_1$ )

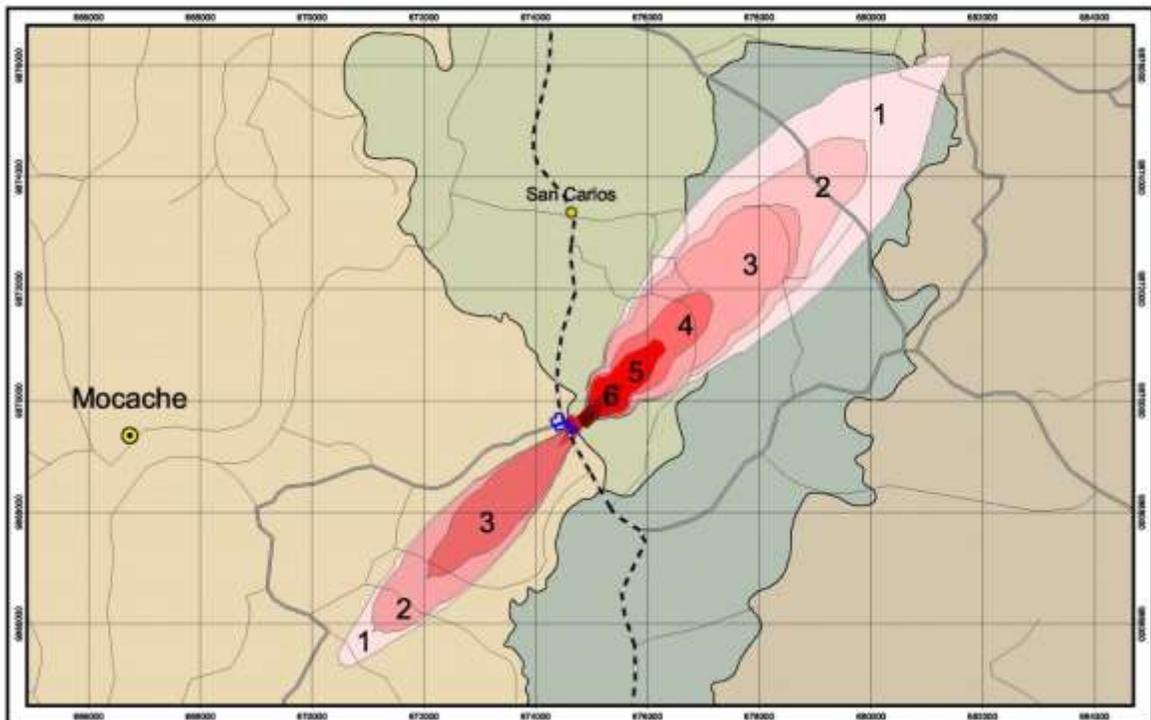
### E. Cálculo del área de dispersión de las emisiones de CO mediante el modelo matemático de Gauss

La distribución de la dispersión de las emisiones en la carbonera “La Morenita”, principalmente tiene dos orientaciones Noreste y Suroeste, esto obedece a los patrones de vientos predominantes, ocasionando lo que se conoce como “crosswind” en ambas direcciones, las isopletas (Líneas Curvas) en la Figura 4.11 muestran las diferentes concentraciones de CO calculadas desde el foco de emisión hasta la isopleta más pequeña del orden de  $10^{-7} \text{g/m}^3$  en los dos sentidos.

A continuación se muestran las Tablas 4.5 y 4.6, donde se detalla la concentración de cada isopleta, que fueron calculadas por el método de Gauss originalmente y adecuadas por Passquill & Gliford, para ambas direcciones.

**Figura 4.11.**

**Mapa de Areas de Dispersion de CO Segun Metodo**



Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

**Tabla 4.5.**  
**Concentraciones de CO calculadas a favor del viento.**

<b>Número de Isopleta</b>	<b>Concentración en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>Área (ha)</b>
1.	0,1	711,8818
2.	0,5	340,1973
3.	1,0	452,0138
4.	5,0	126,4502
5.	10,0	72,9618
6.	50,0	13,3545
7.	100,0	5,7437
8.	500,0	2,8580
9.	1000,0	2,2962

Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

**Tabla 4.6.**  
**Concentraciones de CO calculadas a contra viento.**

<b>Número de Isopleta</b>	<b>Concentración en <math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math></b>	<b>Área (ha)</b>
1.	0,4	86,1989
2.	4,0	228,3535
3.	30,0	244,5714
4.	200,0	4,3366
5.	1000,0	0,5216

Elaborada por: Cabrera, E. y Rosero, G. (2010).

Según el Libro Sexto, Anexo Cuatro, del texto unificado de la legislación ambiental secundaria (TULAS), que contiene las normas de calidad del aire ambiente, en su literal; 4.1.2. *Normas generales para concentraciones de contaminantes comunes en el aire ambiente*, dicta que: *La concentración de monóxido de carbono de las muestras determinadas de forma continua, en un período de 8 (ocho) horas, no deberá exceder de diez mil microgramos por metro cúbico (10 000 µg/m<sup>3</sup>) más de una vez en un año.*

Comparando con lo descrito por el TULAS y la tabla de resultados obtenidos por el cálculo de la distribución horizontal de Monóxido de Carbono (CO) dispersado por la carbonera “La Morenita” donde elaboran carbón vegetal. Se puede resaltar que los niveles de concentración de CO no supera la norma descrita por el TULAS, ya que según el cálculo realizado la concentración máxima de CO, es de mil microgramos por metro cubico (1000 µg/m<sup>3</sup>), en ambas direcciones.

- H<sub>0</sub> El método de Gauss no es pertinente para el cálculo del área de dispersión de las emisiones de CO, en el caso de la zona afectada por las carboneras bajo estudio.
- H<sub>1</sub> El método de Gauss es pertinente para el cálculo del área de dispersión de las emisiones de CO, en el caso de la zona afectada por las carboneras bajo estudio.

Con los resultados obtenidos, tal como se muestra en la figura 4.11. se puede afirmar que el método de Gauss es pertinente para el cálculo del área de dispersión de las emisiones de CO, por lo tanto se acepta la hipótesis alternativa (H<sub>1</sub>)

## F. Determinación de un modelo mejorado de horno para la producción de carbón vegetal

El tipo de horno utilizado actualmente en nuestro medio (Los Ríos), es la parva de serrín, los hay de dos modelos, uno de forma rectangular asentado horizontalmente y el otro tiene forma cónica, ambos son recubiertos con serrín ya que sirve de aislante térmico y corta el flujo de aire al interior del horno e impide que se queme totalmente. Para el análisis comparativo se tomo en cuenta únicamente el horno de forma rectangular, utilizado en la carbonera donde se realiza este proyecto.

El modelo de horno de parva de serrín no necesita de mayor inversión cuando es construido, su tiempo de vida útil se concluye cuando termina el proceso de producción de carbón, puede ser construido de diversos tamaños con ciertas limitaciones en su altura, para construirlo y extraer el carbón terminado se necesita poca mano de obra y menos para vigilarlo durante el proceso de carbonización.

Según datos obtenidos en campo y de literaturas de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (F.A.O.) se obtuvo la siguiente tabla comparativa entre el horno parva de serrín y el horno de media naranja argentino.

Comparación de los tipos de hornos “Media Naranja” y “Parva de Serrín”:

Horno Media Naranja Argentino	Horno Parva de Serrín
Economía de Implementación	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesita de 4000–5000 m<sup>2</sup> (aprox.) de superficie limpia para una carbonera de 10 – 12 hornos.</li> <li>• Para construir un horno de 6 m de diámetro se necesita una cantidad de 6000 ladrillos porosos (aprox.).</li> <li>• Necesita mínimo de dos hombres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesita de 4000–5000 m<sup>2</sup> (aprox.) de superficie limpia para una carbonera de 10 – 12 hornos.</li> <li>• Para un horno de 21 m<sup>3</sup> se necesita la cantidad de 2 m<sup>3</sup> de serrín aproximadamente.</li> <li>• Para completar de armar un horno</li> </ul>

trabajando 3 días para construirlo.	de 12,9 t se necesita de tres hombres trabajando por 4 horas.
<b>Economía de Operación</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesita de dos ó tres hombres durante 5 ó 6 horas para cargar 30 t de madera en el horno.</li> <li>• Se necesita una ó dos personas para el control del quemado que tarda de 6 a 7 días, enfriado del horno y la descarga de carbón de 3 a 4 días.</li> <li>• El ciclo de producción es de 13 – 14 días.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Se necesita de dos ó tres hombres durante 5 ó 6 horas para armarla madera y terminar el horno de 12,9 t de madera.</li> <li>• Se necesita una persona para el control del quemado que tarda 15 días.</li> <li>• Sacando carbón desde el 7mo. día hasta el día 15, se necesita de 3 hombres.</li> <li>• El ciclo de producción promedio es de 15 días.</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El rendimiento promedio de cada honro es de 4 t de madera por t de carbón.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El rendimiento promedio de cada horno es de 5,5 t de madera por t de carbón.</li> </ul>
<b>Economía de Mantenimiento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El mantenimiento se lo realiza cuando entra en la etapa de enfriamiento, se lanza barro diluido con agua sobre el horno para sellar las fisuras que aparecen por las presiones que ocasionan los cambios de temperatura.</li> <li>• Un horno está diseñado para durar 5 años con este tipo de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No necesita mayor mantenimiento que, las labores de vigilancia del quemado, que consiste en tapar los agujeros que aparecen por el quemado del serrín.</li> </ul>

mantenimiento.	
Compatibilidad con el Ambiente	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Este diseño de horno no necesita de materiales ajenos a su entorno, debido que utiliza ladrillos que son hechos de barro del mismo suelo.</li> <li>• Posee condiciones de hermetismo casi total, dándole cualidades especiales de manejo de las condiciones al interior del horno, pudiendo controlar las emisiones al aire.</li> <li>• Se puede aprovechar al máximo el carbón producido, incluso los residuos (carbonilla) que quedan dentro del horno y que sirven para hacer briquetas (carbonilla compactada).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El horno “parva de serrín” es hecho completamente de madera y sus derivados, no necesita de materiales adicionales.</li> <li>• No posee condiciones de hermetismo, por lo tanto es difícil de manejar las condiciones al interior del horno, por ende libera gran cantidad de emisiones al aire.</li> <li>• No se puede aprovechar los residuos (carbonilla), por que se mezclan con el serrín.</li> <li>• El serrín quemado y la carbonilla se mezclan, impidiendo su aprovechamiento, por lo tanto son residuos que se disponen libremente en las quebradas o lotes baldíos.</li> </ul>

## V. DISCUSIÓN

A pesar de la carga apreciable de monóxido de carbono emitida por los hornos en activo, éstos sufren un proceso de dilución, advección y difusión a través de la atmósfera debido, sobre todo, a las condiciones climáticas preponderantes en la mayor parte del año: vientos relativamente moderados y sostenidos, inversiones de temperatura y lluvia abundante, particularmente durante la época de lluvia, que produce dilución y el lavado del gas atmosférico en el agua (Gruenfield, 2009).

En cuanto a la acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento, se discute que los efectos nocivos de este material se presentan en un radio de 50 m medidos desde el centro aproximado de los hornos instalados.

Los valores indicativos de peligrosidad son los reconocidos como máximos absolutos, que van desde 1,0846 hasta 6,3544 mg/cm<sup>2</sup> y que pueden considerarse relativamente elevados, se encuentran significativamente sobre los límites superiores que establece la normativa ambiental para partículas sedimentables es de 1 mg/cm<sup>2</sup>.

Al encontrarse estas partículas en el volumen de inmisión (2,0 m de altura con respecto al nivel del suelo), se traducen en un problema para el buen funcionamiento del tracto respiratorio de humanos y fauna, además de los efectos negativos que causan al sedimentarse sobre el suelo y las hojas de las plantas, pudiendo interferir con el proceso fotosintético (Klein, 2007).

La disminución de visibilidad de conductores de vehículos, fue significativa, a demás en días nublados, puede provocar problemas mayores a los conductores de vehículos automotores, sobre todo, en dependencia de la capacidad y salud visual de los conductores. Existen momentos del día y la noche en que la visibilidad se reduce bastante, sin embargo, no existe normativa para el tráfico

rodado en el país que regule este aspecto. Las normas internacionales tampoco se refieren a esto.

De cualquier manera, una propuesta de mejoramiento de la eficiencia de los hornos, contribuiría a reducir este problema y sus efectos, puesto que el sentido de la vista pudiera verse negativamente afectado por la poca visibilidad, en los momentos en que esta se maximice.

Con relación al cálculo del área de dispersión de CO en la parroquia San Carlos, estas áreas señalan la distribución de las concentraciones de CO, las mismas que no sobrepasan el límite máximo establecido por la norma descrita en el TULAS, siendo el valor máximo  $10\,000 \frac{\mu g}{m^3}$ , para ambas direcciones calculadas.

Con esto queda establecida la metodología de Passquill & Gliford como método indirecto, para la realización de cálculos de área de dispersión de gases de una manera diferente a la convencional utilización de equipos de medición y monitoreo (método indirecto).

De la información obtenida sobre hornos más eficientes, no sólo económicamente hablando, sino también desde el punto de vista de la mejoría de la calidad ambiental, puede discutirse lo siguiente.

El horno “media naranja argentino” por sus condiciones técnicas y por estar construido con materiales más resistentes, presta mejores rendimientos que el horno “parva de serrín”, produciendo la misma cantidad de carbón con menos madera.

El horno “media naranja argentino” para los pequeños carboneros, representa una inversión económica importante, comparándolo con el horno “parva de serrín” que cuesta muy poco.

El horno “media naranja argentino”, por razones de perder menos carbón en su ciclo de producción, emite menos cantidades de CO a la atmosfera, reduciendo la contaminación del entorno. De igual manera reduciría el impacto a la salud de las personas, flora y fauna del lugar de la carbonera.

Es decir, que cualquiera de los dispositivos estudiados, son susceptibles de ser aplicados, con la obtención de buenos réditos económicos y ambientales, sin perjuicio de la cantidad de trabajo socialmente útil desplegado en la elaboración de carbón vegetal.

## VI. CONCLUSIONES

- En cuanto a la identificación de procesos para la elaboración de carbón vegetal, se concluye que:
  - El método utilizado en la Aso. de carboneros “La Morenita”, es rudimentario y por lo tanto puede atentar contra la salud y la calidad de vida de los miembros de la asociación y de los habitantes del sector.
  
- En relación a la determinación de las concentraciones de CO en la parroquia San Carlos, cantón Quevedo, mediante cálculos estequiométricos a partir de la cantidad de madera convertida en carbón (pirolisis), se concluye que:
  - La metodología establecida por el TULAS no es compatible con la metodología de cálculo (estequiométrico) empleada en esta investigación
  
- En relación a la medición de la acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento, se concluye que:
  - El área de afectación (área que sobrepasa los límites permisibles según el TULAS) comprende una extensión de 5026 m<sup>2</sup> alrededor de la fuente fija de emisión. (área donde viven los trabajadores de la carbonera)

- En relación a la medición de la visibilidad horizontal desde los focos emisores se concluye que:
  - La visibilidad horizontal disminuida por los efectos de la quema de carbón no garantiza una adecuada visibilidad para los conductores de vehículos automotores.
  
- Con relación a la determinación del área de dispersión de las emisiones de CO, se concluyó lo siguiente:
  - El método de Gauss (modelo matemático) si garantiza la pertinencia del cálculo del área de dispersión y permiten su representación cartográfica.
  
- Con relación a la propuesta de mejor horno para elaboración de carbón vegetal, se llegó a lo siguiente:
  - Se determinó que el horno “media naranja argentino” propuesto en esta investigación, es un modelo mejorado para la producción de carbón vegetal.

## VII. RECOMENDACIONES

- El modelo de horno (Media Naranja) puede ser fácilmente implementado en la localidad de San Carlos (asociación “La Morenita”), resolviendo con esto multiplicidad de problemas, principalmente las afectaciones a la salud.
- Para cumplir con las exigencias del TULAS, es necesario adquirir los equipos que recomienda éste cuerpo legal.
- Se recomienda la reubicación de la carbonera (aso. “La Morenita”), en la medida de lo posible, o que se trasladen las viviendas de los trabajadores a un lugar a no menos de 100 metros del área de afectación.
- Colocar señalización que advierta a los conductores de vehículos automotores de la disminución de la visibilidad en el sector.
- Recomendamos la utilización del método de Gauss (modelo matemático) para la delimitar las áreas de afectación para estudios de contaminación atmosférica.

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, titulado “Determinación de la Distribución Horizontal de las Emisiones Producidas en los Hornos Artesanales para la Elaboración de Carbón Vegetal en el Cantón Quevedo” trata sobre la problemática ambiental asociada con la producción de carbón vegetal en el cantón Quevedo, particularmente en la parroquia San Carlos. El objetivo general del estudio fue evaluar la distribución de las emisiones producidas en los hornos artesanales para elaboración de carbón vegetal en el cantón Quevedo, durante la época seca del año. Alcanzándose los objetivos específicos relacionados con la identificación de los procesos para la elaboración de carbón vegetal; la determinación de las concentraciones de CO en la parroquia San Carlos, mediante cálculos estequiométricos a partir de la cantidad de madera convertida en carbón (pirolisis); la medición de la acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento; la determinación de la visibilidad horizontal desde los focos emisores; la determinación de la pertinencia del método de Gauss para el cálculo del área de dispersión de las emisiones de CO mediante el modelo matemático de Gauss; así como la determinación de un modelo mejorado de horno para la producción de carbón vegetal. Los principales resultados incluyeron la obtención de la concentración media de CO de  $5\,961\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , cifra no comparable con la normativa del TULAS por diferencia de métodos; la acumulación horizontal del material particulado precipitado (deposición anhidra) a diferentes distancias a sotavento, que varió desde  $1,0846$  hasta  $6,3544\ \text{mg}/\text{cm}^2$ , en un radio de  $50\ \text{m}$  medido desde el centro aproximado de los hornos instalados y que están sobre el límite establecido por la Legislación Ambiental; sobre el problema de la visibilidad horizontal desde los focos emisores, se concluyó que esto sí es significativo, a pesar de que en días nublados, puede provocar problemas a los conductores de vehículos automotores. Asimismo, se demostró la pertinencia del método de Gauss para el cálculo del área de dispersión de las emisiones de CO mediante el modelo matemático de Gauss. Las áreas determinadas establecen la distribución de las concentraciones de CO, las mismas que no sobrepasan el límite máximo establecido por la norma descrita en el TULAS, siendo el valor máximo  $10\,000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  para ambas direcciones calculadas. Por último se determinó que el horno “media naranja argentino” es un modelo mejorado para la producción de carbón vegetal en la localidad de San Carlos. Se recomienda, principalmente, la realización de estudios similares en localidades donde exista una presencia significativa de producción de carbón vegetal.

## SUMMARY

The present investigation work, titled "Determination of the Horizontal Distribution of the Produced Emissions in the Handmade Ovens for the Elaboration of Vegetable Coal in the Canton Quevedo" tries on the environmental problem associated with the production of vegetable coal in the canton Quevedo, particularly in the parish San Carlos. The general objective of the study was to evaluate the distribution of the emissions taken place in the handmade ovens for elaboration of vegetable coal in the canton Quevedo, during the dry time of the year. Being reached the specific objectives related with the identification of the processes for the elaboration of vegetable coal; the determination of the concentrations of CO in the parish San Carlos, by means of calculations estequiométricos starting from the wooden quantity transformed into coal (pyrolysis); the mensuration of the horizontal accumulation of the particulate material precipitating (anhydrous deposition) at different distances to leeward; the determination of the horizontal visibility from the issuing focuses; the determination of the relevancy of the method of Gauss for the calculation of the area of dispersion of the emissions of CO by means of the mathematical pattern of Gauss; as well as the determination of an improved model of oven for the production of vegetable coal. The main results included the obtaining of the half concentration of CO of  $5\,961\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ , amount is not comparable with the regulations of the TULAS by differences in methods; the horizontal accumulation of the material precipitate particulado (anhydrous deposition) at different distances to leeward that varied from  $1,0846$  up to  $6,3544\ \text{mg}/\text{cm}^2$ , within  $50\ \text{m}$  measured from the approximate center of the furnace installed and are above the limit set by the Environmental Legislation; on the problem of the horizontal visibility from the issuing focuses, you concluded that this it is significant, although in cloudy days, it can cause problems to the drivers of self-driven vehicles. Also, the relevancy of the method of Gauss was demonstrated for the calculation of the area of dispersion of the emissions of CO by means of the mathematical pattern of Gauss. The certain areas establish the distribution of the concentrations of CO, the same ones that don't overcome the maximum limit settled down by the norm described in the TULAS, being the maximum value  $10000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  for both calculated addresses. Lastly it was determined that the oven "Argentinean half orange" is a model improved for the production of vegetable coal in San Carlos' town. In general, It is recommended, the realization of similar studies in towns where a significant presence of production of vegetable coal exists.

## BIBLIOGRAFÍA

- Andrew T, Allen. 2000. Manual de Control de la Calidad del Aire. Modelos de Dispersión Atmosférica. Tomo 1. Editorial, McGraw-Hill. México D.F.
- 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).
- Gary W. Heinke, Glynn Henry. 1999. Ingeniería Ambiental. Capítulo 6, Física y Química. Segunda Edición. México D.F. Editorial, Pearson. Pag., 142-208.
- GRUENFIELD, S.D. (2009). A discussion on air quality in open environmental.XIV Congress on Atmospheric Pollution Control, Edmonton, Canada.
- Guanotuña, Nestor. 2009. Dirección Provincial de Los Ríos. Nexo de la Calidad Ambiental. Quevedo.Informe de Inspección No. 007, Pag, 6/6.
- KLEIN, J.E. (2007). Effect of Solid Particle in the Air on Human Health.Journal of Water Pollution Control Federation, APHA, AWWA, WPCF, Vol. XI, No. 3, New York, U.S.A.
- Mackenzie L. Davis, Susan J. Masten. 2005. Ingeniería y Ciencias Ambientales. Dispersiones Atmosféricas. Editorial, McGraw-Hill. México D.F.
- Menéndez J. Ángel. 2009. El Carbón en la vida cotidiana. Instituto Nacional del Carbón, Oviedo. C.S.I.C.
- Patiño Mario. 2007. Modelos de Dispersión Gaussiano. Principales Parámetros que Afectan la Dispersión de Contaminantes en el Aire. Seminario de Combustión Industrial Aplicada. ESPOL. Ecuador, Guayaquil.

- Teho Cristian, Torreblanza Mónica. 2003. Aplicación de un Modelo de Dispersión para Estimar la Concentración de Material Particulado en la Región Metropolitana de Santiago de Chile. Santiago, Chile. Pag, 174.
- Timonen KI, Pekkanen J, Tiittanen P, Salonen Ro.(2002) Efectos de la contaminación atmosférica en cambios en la función de pulmón inducida por ejercicio en niños con síntomas respiratorios crónicos. Grupo Británico Del Diario Público De Medicina, Londres, pp. 129-134.
- Trossero, M.A, 1978. 'Análisis comparativo de hornos de carbón vegetal Congreso ILAFA-Altos Hornos'. Instituto Latinoamericano del Fierro y el Acero (En español).
- WHO, 2000.Guidelines for Air Quality. World Health Organization, Geneva. pp. 190.
- William J. Moroz. 1999. Ingeniería Ambiental. Capitulo 13, Contaminación del Aire. Segunda Edición. México D.F. Editorial, Pearson. Pag., 492-566.
- Food and Agriculture Organization.1983.Métodos Simples para Fabricar Carbón Vegetal. Dirección de la Industria Mecánica de la Madera. Montes 41. Roma, Italia. Editorial Charcoal. 154 p.