CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LOS HORNOS PARA LA PRODUCCIÓN ALFARERA DEL MUNICIPIO DE RÁQUIRA, BOYACÁ.

Ángela Lucia Herrera Ruiz

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, abril de 2018

CARACTERIZACIÓN TECNOLÓGICA DE LOS HORNOS PARA LA PRODUCCIÓN ALFARERA DEL MUNICIPIO DE RÁQUIRA, BOYACÁ.

Ángela Lucia Herrera Ruiz

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Ambiental

Director (a):
María Eugenia Guerrero Useda

Línea de Investigación: Salud y ambiente

Universidad El Bosque
Facultad de Ingeniería
Programa Ingeniería Ambiental
Bogotá, Colombia
2018

Nota de Salvedad de Responsabilidad Institucional

La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velara por el rigor científico, metodológico y ético del mismo en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia.

A mis padres y hermana por tanto apoyo.

Agradecimientos

A Luis Zárate, la asociación de alfareros ASOALFRA, los artesanos de Ráquira, ya que sin su colaboración no hubiera sido posible. A la matriz aire y la matriz de modelos digitales de la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental de la CAR.

Tabla de Contenido

Abstract 10
Introducción 11
1. Planteamiento del problema 11
2. Objetivo general y específicos 12
3. Justificación 13
4. Marcos de referencia 13
4.1. Estado del arte 13
4.2. Marco contextual 15
4.3. Marco conceptual 16
4.4. Marco teórico 16
4.5. Marco normativo 17
4.6. Marco geográfico 18
4.7. Marco Institucional 19
5. Metodología 21
5.1 Enfoque de la investigación 21
5.2 Alcance de la investigación 21
5.3 Método de investigación 21
5.4 Población objeto de estudio 21
5.5 Técnicas e instrumentos para recolectar la información 22
5.6 Técnicas para organizar, sistematizar e interpretar la información 22
5.7 Actividades por objetivo y esquematización por fases. 22
5.8 Plan de trabajo por objetivos 25
6. Cronograma 28
7. Presupuesto 28
8. Resultados 29
9. Análisis y discusión de resultados 39
10. Conclusiones 40
11. Recomendaciones 41
Referencias 42

Listado de figuras

Figura 1. *Concentraciones promedio anuales de PM_{10} en las estaciones de monitoreo en la jurisdicción de la CAR……...12*

Figura 2. *Emisión total provincial Chiquinquirá……..14*

Figura 3. *Ubicación de Ráquira, Colombia……..……18*

Figura 4. *Organigrama de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca……...20*

Figura 5. *Resumen de la metodología por fases de trabajo…….25*

Figura 6. *Diagrama de Gantt para las cuatro fases del proyecto…….…….29*

Figura 7. *Tipo y geometría de los hornos para la producción alfarera de Ráquira.……..29*

Figura 8. *Procedencia y tipo de combustible con el que alimentan los hornos……..30*

Figura 9. *Consumo mensual de combustibles gaseosos por número de hornos en rangos de 100…….31*

Figura 10. *Consumo mensual de leña y carbón mineral por número de hornos en rangos de 100…….31*

Figura 11. *Almacenamiento al aire libre de leña y carbón……..32*

Figura 12. *Duración en horas de la cocción de las piezas en cada horno……..32*

Figura 13. *Modificaciones tecnológicas en los hornos o reconversión en los últimos 15 años....33*

Figura 14. *Motivaciones para hacer modificaciones tecnológicas en los hornos o reconversión en los últimos 15 años……..33*

Figura 15. *Tipo de acabado de las piezas……34*

Figura 16. *Posibilidad de realizar medición directa de emisiones dependiendo de la geometría y los parámetros del protocolo de fuentes fijas adoptado en Colombia..... 34*

Figura 17. *Uso de algún sistema de control de emisiones……..35*

Figura 18. *Chimenea de geometría cuadrada en Ráquira……..35*

Figura 19*. Ubicación de los predios en donde hay hornos para producción de alfarería en Ráquira, Boyacá…….36*

Listado de tablas

***Tabla 1**. Matriz plan de trabajo primer objetivo específico……..25*

***Tabla 2**. Matriz plan de acción segundo objetivo específico……27*

***Tabla 3**. Matriz plan de acción tercer objetivo específico……....27*

***Tabla 4**. Presupuesto general…….……29*

***Tabla 5.** Predios en donde operan hornos para producción alfarera en Ráquira por veredas…….30*

***Tabla 6**. Número de predios en donde operan hornos para producción alfarera en Ráquira por veredas…….…….…….36*

***Tabla 7.** Área de las veredas en donde se concentran los hornos y población afectada directamente……38*

Resumen

El uso de hornos artesanales con tecnologías antiguas y combustibles poco eficientes como el carbón mineral en la actividad alfarera del municipio de Ráquira, Boyacá genera grandes cantidades de PM_{10} que se emiten a la atmosfera sin ningún sistema de control. Esta situación hace que la calidad del aire no sea buena, siendo reportada en los informes del estado de la calidad del aire en Colombia por el IDEAM. Este municipio hace parte de la jurisdicción de la Corporación autónoma regional de Cundinamarca (CAR), por lo que se ha propuesto llevar a cabo un proyecto de intervención para la optimización tecnológica de los hornos en conjunto con los artesanos, cuya primera fase incluye un diagnóstico de los hornos. Por esa razón, el objetivo general de este trabajo es caracterizar la tecnología de los hornos de producción alfarera del municipio de Ráquira para obtener un inventario de estas fuentes de contaminación atmosférica. Esto se realizó a través de encuestas semiestructuradas puerta a puerta. Se logró obtener la ubicación de los predios en donde están los hornos, una base de datos con la caracterización tecnológica completa y el análisis estadístico de dichos datos.

Palabras clave: Alfarería, inventario de fuentes, encuesta de campo y material particulado (PM).

Abstract

The utilization of craft ovens with timeworn techniques and inefficient fuels like mineral carbon in the pottery activity within the municipality of Ráquira, Boyacá makes up for great quantities of PM_{10} which are emitted to the environment, lacking a system of control. This provokes the air to have a low quality, thus being reported by the IDEAM in the reports about the air quality in Colombia. This municipality is part of the Regional autonomous corporation (CAR) Cundinamarca's jurisdiction, reason why an intervention project has been proposed in conjunct with the artisans where the technological optimization of said ovens is the main objective. The initial phase includes the diagnosis of the ovens; consequently, the general objective of this paper is to characterize the pottery ovens' technologies in the municipality of Ráquira, to obtain an inventory of the atmospheric contamination sources. This was done by executing door to door semi-structured surveys. The geolocation of properties with ovens was obtained, as well as a database with a complete technological characterization and the analysis of said data.

Key words: Pottery, sources inventory, field survey and particulate matter.

Introducción

Durante el año 2016, las concentraciones de PM_{10} excedieron el nivel máximo permisible anual en 14 estaciones de monitoreo en Colombia. Las mayores concentraciones se presentaron en las estaciones Ráquira – Colegio (CAR) y Yumbo – ACOPI (CVC); en el caso de la estación localizada en el municipio de Ráquira, las emisiones provienen del desarrollo de la actividad alfarera, la cual emplea hornos para la cocción de piezas fabricadas en arcilla (IDEAM, 2017). Ráquira se encuentra en la parte alta de la provincia de Ricaurte, a 56 kilómetros de Tunja, la capital del departamento de Boyacá. Ráquira fue fundada en 1580 por conquistadores españoles, quienes lo llamaron "Pueblo ollero" por la dedicación de sus pobladores indígenas al trabajo de la cerámica (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo, 2005). Para poder abordar la problemática ambiental de calidad del aire, es necesario empezar por caracterizar completamente las fuentes. Esta investigación consiste en conocer la cantidad de hornos y las características tecnológicas de los mismos mediante encuestas puerta a puerta, determinar la ubicación geográfica de los hornos y el análisis estadístico de la información. Por último, sintetizar los datos obtenidos relacionados con la calidad del aire para sentar la base del diagnóstico en el desarrollo de la intervención por parte de la CAR. La caracterización de fuentes fijas es insumo para el inventario de emisiones y la base de datos geográfica en conjunto con la caracterización son entradas para el modelo que se va a desarrollar posteriormente. Este trabajo se desarrolló en la CAR bajo la modalidad de práctica empresarial. El aporte de este proyecto consiste en orientar y alimentar el estudio de emisiones y la modelación ambiental en Ráquira. Además, ofrece una amplia visión de cómo desarrollar una caracterización de fuentes fijas entendiendo y analizando el contexto en el que operan. Dicho proyecto está enmarcado en el área de salud ambiental, ya que busca materializar el derecho a un ambiente sano consagrado en la constitución política de Colombia, más específicamente, el derecho a respirar una calidad de aire buena. Por lo que aporta con el levantamiento de información base en la posterior transformación de determinantes ambientales y sociales para reducir los niveles de PM_{10}.

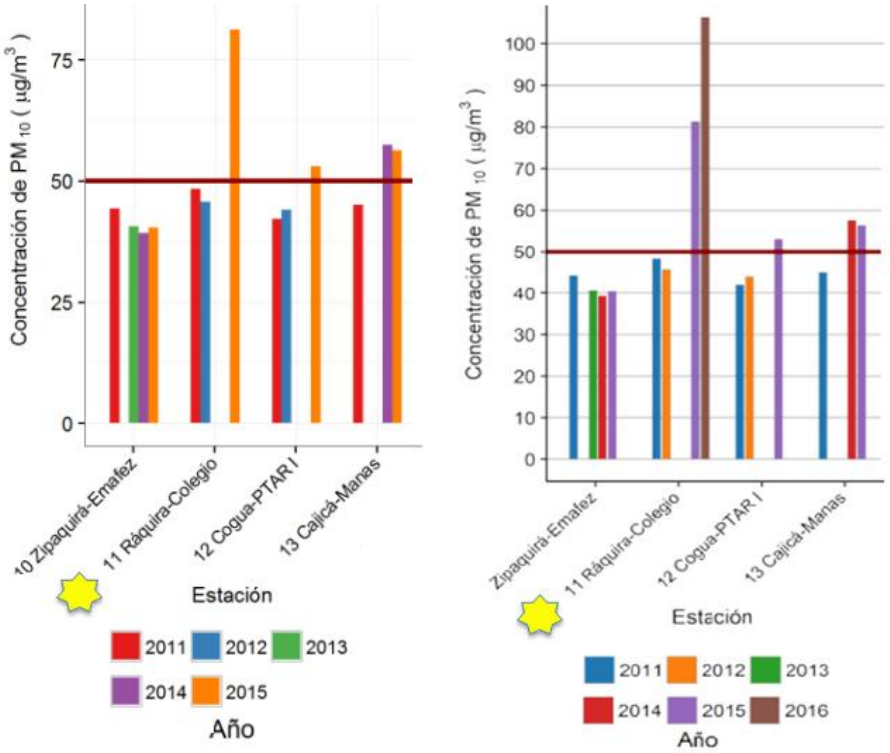
1. Planteamiento del problema

En el municipio de Ráquira, la producción industrial se concentra en tres áreas: minería, producción agropecuaria y producción artesanal. Respecto a esta última actividad, se estima que cerca del 80% de la población se dedica a la fabricación de objetos artesanales, resultado de su herencia indígena (Ministerio de Cultura, 2014). Si bien gran parte de los reportes sobre el oficio de barro son tardíos, se cree que, en el municipio de Ráquira, la alfarería fue un oficio principal desde épocas prehispánicas; tradición que se extendería desde la llegada de los españoles, hasta tiempos recientes (Moncada Rasmussen, 2010) y (Castellanos, 2015).

Según el Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia para el periodo 2011 – 2015, Ráquira se encontraba dentro de los municipios con los niveles más altos de Material Particulado tipo PM_{10} del país, siendo el segundo corredor con el aire más contaminado por PM_{10} en el año 2015, después del corredor Carvajal- Sevillana, no hubo ningún día con índice de calidad buena del aire (IDEAM, 2016).

La combustión de leña, carbón y gas natural, sumada con las prácticas poco tecnificadas de la actividad alfarera se traducen en que la estación allí presente registre el aire con mayores niveles de PM_{10} de la jurisdicción de la CAR (ver figura 1). Esta situación se ha podido corroborar mediante los niveles en las emisiones de material particulado y acumulación de hollín en grandes cantidades, esto en muchas ocasiones sin ningún tipo de sistema de control, poniendo en riesgo a la población local, generando enfermedades respiratorias y en la piel y ahuyentando a los visitantes (Escallón Romero, 2009).

Figura 1. *Concentraciones promedio anuales de PM_{10} en las estaciones de monitoreo en la jurisdicción de la CAR.*



Fuente: Modificado (IDEAM, 2016) e (IDEAM, 2017)

Adicionalmente, el cálculo del Índice de Calidad del Aire (ICA) para este contaminante demuestra que, durante el año 2016, la única estación de monitoreo que registró concentraciones dañinas a la salud fue Ráquira Colegio, los valores del ICA para esta estación indican que en ninguna de las muestras tomadas se logró la categoría buena, y que en el 86,6% de las muestras efectivas, las concentraciones se ubican en categoría moderada.

Para el 2018 la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca no tenía un inventario preciso de los hornos que se encontraban en operación; además, se tenía una estimación muy aproximada de las cargas contaminantes que estaban afectando el aire del municipio debido a la falta de consenso entre la comunidad alfarera y la alcaldía de Ráquira sobre la cantidad verdadera de hornos que operaban.

Se propone entonces para el proyecto buscar responder la siguiente pregunta: ¿Cuáles son las características tecnológicas y la cantidad de hornos para alfarería del municipio de Ráquira, Boyacá que están afectando la calidad del aire en el sector?

2. Objetivo general y específicos

El objetivo general del proyecto consintió en: Caracterizar la tecnología de los hornos de producción alfarera del municipio de Ráquira para obtener un inventario de estas fuentes de contaminación atmosférica.

Los objetivos específicos fueron:

- Conocer la cantidad de hornos e identificar las características tecnológicas de los mismos mediante encuestas puerta a puerta.
- Determinar la ubicación geográfica de los hornos y el análisis estadístico de la información.
- Sintetizar los datos obtenidos relacionados con la calidad del aire para sentar la base del diagnóstico en el desarrollo de la intervención por parte de la CAR.

3. Justificación

El material particulado en el aire está entre los contaminantes más importantes que influyen negativamente en la salud humana en las zonas urbanas debido a su gran potencial de llegar a la parte más lejana de los pulmones (Unal, Toros, Deniz, & Incecik, 2011). La Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer ha clasificado la contaminación del aire exterior en general, y el PM en particular, como carcinogénico para los humanos, ya que hay suficiente evidencia de que la contaminación del aire puede causar cáncer de pulmón (IARC, 2013).

A nivel nacional, las estaciones de monitoreo que presentan mayor número de excedencias al nivel máximo permisible diario son Ráquira – Colegio, en donde durante el año 2016, las concentraciones detectadas superaron en 133 oportunidades el límite diario, y Yumbo – ACOPI que sobrepasó el nivel en 76 ocasiones (IDEAM, 2017).

Las decisiones de mayor impacto en materia de calidad del aire dependen de los sectores de energía y transporte. El desarrollo urbano, agrícola, industrial y minero, también se relaciona con los problemas de contaminación del aire. Sin embargo, es el sector salud quien en últimas asume estos costos, que han sido estimados en 1,5 billones de pesos anuales (Larsen, 2004) y están relacionados con efectos sobre la salud pública, mortalidad y morbilidad (CONPES, 2005). Dicha situación se podría prevenir o mitigar con una adecuada gestión.

Es por todo esto que se hace necesario iniciar con la caracterización de las fuentes fijas, en este caso los hornos. Este proyecto es importante ambientalmente porque registrar las características tecnológicas de los hornos, variables como tipo de combustible, consumo, tiempo de operación, frecuencia, conocer a cuales fuentes se les puede hacer medición de emisiones, sirve como principal insumo para el cálculo de las emisiones de PM_{10} y otros contaminantes, la modelación de zonas de descarga de los mismos, este es el primer paso para la ejecución del proyecto "Mitigación de la contaminación atmosférica a través de la optimización tecnológica del sector alfarero, Ráquira- Boyacá", adelantado por la CAR en respuesta a la problemática ambiental expuesta.

4. Marcos de referencia

4.1. Estado del arte

El avance tecnológico de la industria alfarera de Ráquira y su impacto en la contaminación del aire ha sido objeto de varios estudios (Acosta & Sánchez, 2014) y (Núñez, Martínez, & Vargas, 2015).

La prevalecía de enfermedades respiratorias y sus costos se relacionan con el incremento del monitoreo de la calidad de aire. El primer diagnóstico nacional de salud ambiental y ocupacional

en México atribuyo serios problemas de salud para las personas que trabajan y habitan en zonas en donde funcionan hornos con sistemas tecnológicos obsoletos (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios, 2002). En Colombia, además de los riesgos en salud derivados de la respiración de aire contaminado, se identificaron riesgo asociados al trabajo en temperaturas extremas en el área de hornos (Enciso Urrego, Pacheco, Rivera, & Guerrero Useda, 2014).

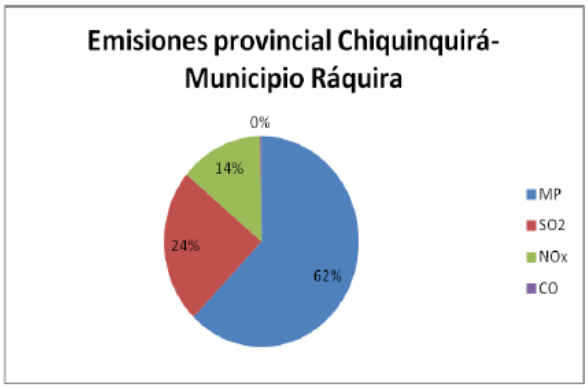
Sobre los métodos para hacer inventario de emisiones se encontró que en China se realizó una estimación de las emisiones de carbono negro provenientes del consumo residencial de biomasa sólida y carbón derivada de los datos que arrojó una encuesta aplicada en 21 veredas. Se demostró que los hogares con mayores ingresos consumen menos biomasas, pero más carbón. Se calcularon las emisiones atmosféricas de carbono negro atribuibles al combustible sólido consumido en el área rural de China en 2014 y el porcentaje que aporta al total según el tipo de combustible (paja, leña y carbón). Además, que una mitigación efectiva (reducción del 47%) se podría obtener a través de una amplia introducción de estufas mejoradas en hogares rurales (Zhang, y otros, 2018). Es un gran aporte en cuanto a la metodología empleada debido a que se desarrolla en un contexto rural, con un problema puntual en cuanto al origen de las emisiones y uso de combustibles similares a los que se manejan para la producción alfarera en Ráquira. En la encuesta que desarrollaron en este trabajo preguntaron por la proveniencia de la paja, la cantidad de veces que prenden la estufa al día, cuantos días al año, la masa de cada combustible que utilizan, el precio, el tipo de estufa y el combustible.

La Secretaria de Ambiente de Bogotá en conjunto con la Universidad de los Andes y la Alcaldía Mayor de Bogotá, realizaron un inventario de emisiones provenientes de fuentes fijas y móviles con una campaña de campo masiva, el aporte de este trabajo es una metodología exitosa de levantamiento de la información básica para la estimación de contaminantes en diferentes industrias (Alcaldía mayor de Bogotá, 2009). En la encuesta de campo se incluyeron preguntas de información básica de la industria como razón social, código CIIU, NIT, tamaño, dirección, teléfono, tipo de fuente, descripción del proceso de combustión, capacidad del equipo de combustión utilizado, tipo de combustible, consumo de combustible, año de fabricación, tiempo de operación, estacionalidad en la operación, tipo de sistemas de control de emisiones y presencia de niples para un muestreo isocinético.

La CAR hizo unos inventarios en la provincia de Chiquinquirá en los años 2011, 2012 y 2015, en dónde tienen en cuenta los municipios Chiquinquirá y Ráquira, sin embargo, debido a las condiciones que predominan en el municipio de Ráquira (combustibles, tecnología, ubicación de las fuentes, cantidad de las fuentes, entre otras), se requiere de un mayor nivel precisión para poder darle solución al problema que genera la actividad de la cocción de arcillas y en ocasiones reprocesos.

En el inventario de emisiones de la regional Chiquinquirá de 2015, realizado por Fulecol para la CAR, se tuvieron en cuenta para el Municipio de Ráquira las seis (6) empresas con mayor capacidad productiva. No se incluyó el municipio de Chiquinquirá justificando que allí no predomina la industria. Se hizo estimación de emisiones por balance de masas y/o reporte, se destaca la fabricación de materiales de arcilla con fuentes de emisión sin sistemas de control, el aporte de emisión atmosférica de estas organizaciones es 62% de material particulado, 24% dióxido de azufre y 14% dióxido de nitrógeno, debido a que la fuente principal de combustión es el carbón y las empresas no tienen sistemas para mitigar estas emisiones (CAR, 2015).

Figura 2. *Emisión total provincial Chiquinquirá.*



Fuente: (CAR, 2015)

En el 2010 se hizo una investigación en el sector de Aguabuena, Ráquira que abordó un análisis espaciotemporal en los bosques de roble y su relación con la alfarería, en donde identificaron dos tipos de talleres: domésticos y de industria familiar, la agregación espacial en los primeros se debe a la presencia de bosques, parentesco y diferente antigüedad, los segundos se concentran sobre las carreteras por parentesco y un aumento de la población (Moncada Rasmussen, 2010).

La Alcaldía de Ráquira a través de la Oficina de Planeación llevo a cabo un registro de los hornos existentes en el municipio, donde se encontró que hay un total de 275 hornos en su mayoría operan con carbón, una menos cantidad con gas natural y por último leña, el 55% concentrados en la parte rural y el 45% en el casco urbano (Alcaldía municipal de Ráquira, 2017)). Sin embargo, la situación de desacuerdo entre los artesanos y la alcaldía acerca de cuantos hornos existen, hace que se amerite verificar la cantidad real de hornos que se encuentran en el municipio con una caracterización completa de donde se puedan concluir diversos aspectos del proyecto principal incluyendo los relacionados con la calidad del aire.

Estas metodologías expuestas anteriormente contribuyen en la preparación y desarrollo de la campaña de campo que se adaptará para este trabajo. Especialmente la que trabajaron en China y la secretaría de ambiente de Bogotá debido a que son trabajos de campo extensos y exitosos en la recolección de datos confiables.

4.2. Marco contextual

El proceso de fabricación de una artesanía en cerámica se basa en cuatro etapas: la preparación de la mezcla de arcilla y el moldeo de la pieza artesanal, el secado, la cocción y el enfriado. El trabajo artesanal de preparación de la mezcla de arcilla y el moldeo de la pieza se efectúan con la arcilla inicialmente húmeda y podrían clasificarse como un secreto de cada artesano puesto que son experiencias que pasan de generación en generación; después del proceso de elaboración se continua con un proceso de pre-secado al ambiente, el cual toma de 3 a 6 días para que una buena cantidad de humedad migre desde el interior hasta la superficie de la pieza, dejando en la arcilla poros definidos que permiten los procesos posteriores de secado y cocción en horno (Arango, Sierra, & Guerrero, 2012).

El Ministerio de Cultura describe el proceso de cocción de las piezas empezando por los hornos, diciendo que actualmente se emplean hornos eléctricos o de gas en Ráquira, pero también se utiliza el horno de carbón o de leña tipo colmena. La construcción de estos hornos es en sí misma una tradición artesanal que ha llevado a la especialización de algunas familias en esta actividad. Sin embargo, estos hornos se han modificado con el tiempo y, debido a la conciencia ambiental, han sido lentamente desplazados por hornos a gas. Puesto que todavía no existen garantías de que se pueda suministrar el combustible de gas propano, es difícil volcarse por completo a esta tecnología. En este mismo estudio se dice que en la cocción de artesanías, una vez terminada la

carga de piezas al horno, se procede a prender el horno por las quemadoras, que son sus orificios laterales. Se inicia con poco fuego. Esta operación de encendido se llama caldeo y debe ser lenta para no dañar las piezas. La medición de temperatura se realiza tradicionalmente "al ojo", es decir los artesanos se guían por el color interno de las piezas que casi siempre es un rojo-naranja característico para esa temperatura. Una vez finalizado el proceso de quema de las piezas, los artesanos dejan enfriar el horno hasta por dos días, tiempo suficiente para garantizar que su temperatura disminuya a niveles donde puedan abrir la boca para sacar las piezas. (Ministerio de Cultura, 2014).

4.3. Marco conceptual

En el contexto de los inventarios de emisiones, una encuesta, es un cuestionario diseñado para obtener información sobre emisiones. A menudo son utilizados para recopilar información sobre los establecimientos industriales y de servicios, pero también para obtener información de fuentes área como parte de un muestreo representativo de fuentes dentro de una categoría dada (Secretaría de medio ambiente y recursos naturales, 2005).

El material particulado es una mezcla compleja de partículas líquidas y sólidas de sustancias orgánicas e inorgánicas suspendidas en el aire, que varían el tamaño forma y composición. Según su tamaño, se clasifican en Partículas Suspendidas Totales (PST), Partículas Menores a 10 micras (PM_{10}) o Partículas Menores a 2.5 micras ($PM_{2.5}$). Las PM_{10} son llamadas también partículas gruesas y tienen un tamaño comprendido entre 2.5 y 10 micrómetros e incluyen ceniza, polvo de carbón, polvo sedimentable, bacterias esporas de moho, alérgenos, entre otros (IDEAM, 2017).

El protocolo para el control y la vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, adoptado por la Resolución 760 de 2010 del MAVDT, dice que los hornos discontinuos son aquellos en dónde el proceso de cocción consta de tres etapas principales (precalentamiento, tratamiento térmico que se desarrolla a la máxima temperatura y enfriamiento), el proceso de cocción se realiza por ciclos y únicamente se puede volver a iniciar el proceso una vez ha sido extraída toda la carga cocida y renovada por una nueva carga.

4.4. Marco teórico

Una herramienta importante para mitigación de los impactos atmosféricos es el inventario de emisión, que documenta los tipos de actividades que conducen a las emisiones, las identidades de los contaminantes emitidos, la ubicación, el período de tiempo para el cual las emisiones son estimadas, y el método utilizado para estimar las emisiones (Olaguer, Stutz, Erickson, Hurlock, & Cheung, 2017). Adicionalmente, la información generada en un inventario de este tipo permite determinar la eficacia de los programas y políticas que ya han sido implementados y que pretenden disminuir el impacto de las fuentes contaminantes (Alcaldía mayor de Bogotá, 2009).

Desde un punto de vista de modelado de la calidad del aire, los datos de emisión normalmente deberían tomarse de la base de datos más representativa y detallada disponible en la escala deseada. La mayoría de estos datos deberían haberse compilado utilizando metodologías de abajo hacia arriba, que se basan en información detallada recopilada a nivel local, con el objetivo ideal de proporcionar información sobre cada fuente de emisión en la región estudiada (Vedrenne, y otros, 2016).

Con la elaboración de diagnósticos, inventarios, modelación, campañas, seguimiento y control de las fuentes de emisión, se logra obtener información sobre las fuentes de emisión lo cual no solo es útil para definir la necesidad de implementar o modificar un sistema de vigilancia de la calidad del aire, sino para concertar acciones para prevención y control de emisiones con los sectores/ actividades que las generan. La adecuada ejecución de estos estudios, solos o en conjunto,

permiten la identificación de los puntos críticos de contaminación, tipificación de contaminantes predominantes, zonas de concentración y dispersión y la distribución espacial, facilitando la selección de los puntos de monitoreo y ubicación idónea de las estaciones (IDEAM, 2017).

Los hornos que operan en Ráquira consumen aproximadamente 4.800 toneladas carbón anualmente, son extremadamente antiguos, sin control de la temperatura del gas de salida y aislamiento inapropiado, lo que resulta en una baja eficiencia energética y varios gases de efecto invernadero (Forero, López, & Sierra, 2015).

En un informe técnico del Ministerio de Comercio, Industria y Turismo (2005), se describen los hornos existentes en Ráquira al 2005, empezando por aquellos que operan a gas de tiro directo en un estado regular, de 70 x 80 cm, ubicados en el Centro, la Candelaria y Resguardo Occidente, su impacto ambiental directo es nulo, logran una temperatura de 1.100°C.

En el mismo informe se describen los hornos a carbón, redondos o cuadrados, construidos con adobes o ladrillos, de llama directa o invertida, alcanzan entre 800 y 1.000°C. Miden 4m^3. Su impacto ambiental negativo es muy alto debido a la contaminación atmosférica que generan. Son adecuados para cocción de piezas medianas y grandes de alfarería, estos hornos requieren mejoras técnicas para un funcionamiento más eficiente, para mitigar y controlar la contaminación a nivel de la combustión interna, selección y aprovechamiento del carbón, pérdida de energía calorífica, emisiones, etc. Además, caracterizan los hornos a leña, que son de fuego directo, de 1,50 m^3, con impacto ambiental negativo por sus emisiones de gases y la deforestación que implican. Son ineficientes porque alcanzan una temperatura máxima de 800°C, ubicados en el sector rural. Por último, los hornos eléctricos, cuadrados o hexagonales, de 80 x 80 cm., ubicados en el centro de la población, costosa su adquisición es costosa y su uso limitado debido al alto consumo de energía eléctrica y a la escasa electrificación rural. No generan emisiones atmosféricas, son construidos por los mismos artesanos con algunas imperfecciones técnicas, alcanzando temperaturas de 1.050°C. (Ministerio de Comercio, Industria y Turismo., 2005)

4.5. Marco normativo

La Ley 99 de 1993 en su artículo 30, establece que todas las Corporaciones Autónomas Regionales tendrán por objeto la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio del Medio Ambiente.

El Artículo 31 de esta misma Ley indica que dentro de las funciones de las autoridades ambientales se encuentra ejecutar, administrar, operar y mantener en coordinación con las entidades territoriales, proyectos, programas de desarrollo sostenible y obras de infraestructura cuya realización sea necesaria para la defensa y protección o para la descontaminación o recuperación del medio ambiente y los recursos naturales renovables.

La Resolución 909 de 2008 del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial que establece las normas y los estándares de emisión admisibles de contaminantes al aire para fuentes fijas, adopta los procedimientos de medición de emisiones para fuentes fijas y reglamenta los convenios de reconversión a tecnologías limpias.

El Capítulo X de esta misma norma define estándares de emisiones admisibles de contaminantes al aire para las industrias de fabricación de productos de cerámica refractaria, no refractaria y de arcilla

Los niveles máximos permisibles para los contaminantes criterio se encuentran regulados por la Resolución 610 de 2010, la cual establece los niveles máximos de inmisión a nivel nacional. Esta norma atiende a publicaciones realizadas por la Organización Mundial de la Salud – OMS, entidad que ha promulgado una serie de recomendaciones orientadas a proteger la salud pública, las cuales se basan en los resultados de múltiples estudios epidemiológicos (IDEAM, 2017). Esta norma fue derogada por la resolución 2254 de 2017, sin embargo, los informes del estado de calidad de aire en Colombia 2011-2015 y 2016 fueron elaborados con base a la 610 de 2010.

La Resolución 2254 de 2017 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible por la cual se adopta la norma de calidad del aire ambiente y se dictan otras disposiciones para la gestión del recurso aire en el territorio nacional, con el objeto de garantizar un ambiente sano y minimizar el riesgo sobre la salud humana que pueda ser causado por la exposición a los contaminantes en la atmósfera

El Protocolo para el control y vigilancia de la contaminación atmosférica generada por fuentes fijas, adoptado por la 760 de 2010 del Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial, que se acoge a los métodos de evaluación de contaminantes de la EPA.

El Decreto 038 de 2009 de la alcaldía de Ráquira, por medio del cual se toman unas medidas para proteger el medio ambiente. Se prohíbe la construcción de hornos a carbón desde el presente decreto, se prohíbe cocinar piezas de artesanía los fines de semana y festivos.

4.6. Marco geográfico

El municipio de Ráquira está ubicado en el departamento de Boyacá, Colombia, a 5.538 ° N, -73.363 ° O y 2.120 m sobre el nivel del mar promedio (Forero, López, & Sierra, 2015). Se divide en 20 veredas y un casco urbano, limita al norte con Tinjacá y Sutamarchan, al sur con Guachetá en Cundinamarca, al oriente con Sáchica y Samacá, y al occidente con San Miguel de Sema y la Laguna de Fúquene.

Según el EOT de Ráquira 2000-2008 los usos principales del suelo son uso mixto (protector-productor), distrito de adecuación y restauración ecológica. En una menor medida zona agropecuaria de uso intensivo, zona de industria minera, zona de reserva forestal, áreas de amortiguación zonas protegidas y zona de distrito de adecuación de tierras. (Alcaldía de Ráquira, 2008)

Hidrológicamente, los cuerpos de agua que alimentan la cuenca del río Ráquira son: Q. Salada, Q. Pedro Viejo, Q. Torongua, Q. Pajonal y Q. Roa, entre otras que contribuyen con la recarga del cauce principal del río Ráquira a través de ríos como Salado y la Candelaria y la Quebrada La Calera. Una vez que recibe las aguas el cauce principal tanto del río Salado como del río Candelaria y algunas quebradas las aguas son drenadas hacia el río Sutamarchan tributando hasta el río Moniquirá y finalizando en el río Suarez. (Hernandez D. , 2015)

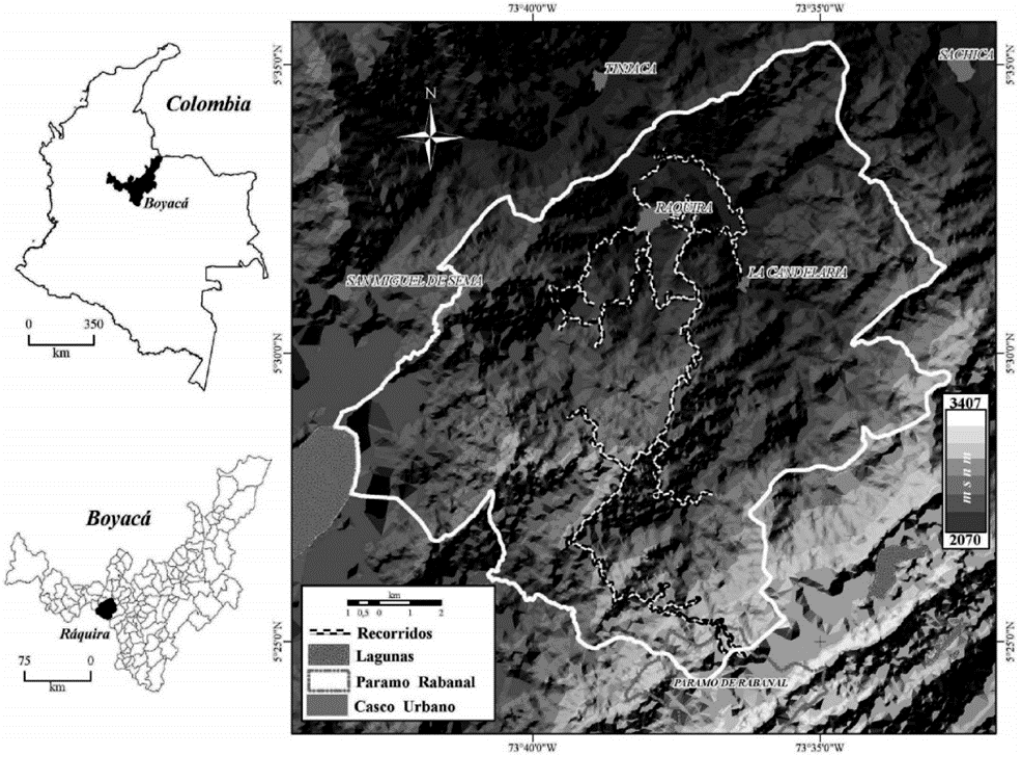
Este municipio se encuentra sobre la cordillera de los Andes, formando parte de las zonas áridas xerofíticas, de pisos térmicos fríos, respectivos del enclave seco de Villa de Leyva. La alfarería ha implicado un alto uso de especies vegetales como combustible. A pesar de la alteración de los ecosistemas, aún existen remanentes de cobertura vegetal de tipo herbáceo y arbustivo que se distribuyen en áreas geográficas como el desierto de la Candelaria, el páramo de Rabanal, los bosques de la reserva forestal El Chaute, entre otros (González & López, 2012).

La fauna se ha visto deteriorada por transformaciones ecosistémicas, existen mamíferos pequeños como Conejos de monte, El Fara, Ratones de campo y predominan los pequeños Vertebrados y Herbívoros. La Avifauna es el grupo más abundante (Mirlas, Copetón, Golondrinas, Atrapamoscas, El Jilguero, Chivi, Cucarachero, Sabanero, la Garza, las Palomas, el Búho y el

Halcón, este último muy esporádicamente) El grupo de los Anfibios más predominante es la Rana. De los reptiles se destacan la Culebra, Lagartija y Lagarto (Artesanías de Colombia, 2008).

Los artesanos del barro de Ráquira desarrollan sus actividades en sus talleres, que usualmente son parte de su casa. En este lugar disponen no solo del espacio para almacenar la materia prima, sino también para transformarla. El taller lo complementa el horno y un cuarto que hace las veces de bodega para las piezas terminadas. Algunos de estos talleres se encuentran en el casco urbano, pero en su mayoría están en las afueras, en veredas como Aguabuena y Resguardo Occidente. (Ministerio de Cultura, 2014)

Figura 3. *Ubicación de Ráquira, Colombia.*



Fuente: (González and López, 2012)

4.7. Marco Institucional

El proyecto sobre la caracterización tecnológica de los hornos para la producción alfarera del municipio de Ráquira fue desarrollado en la jurisdicción Chiquinquirá de la CAR (Asamblea Corporativa de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, 1995). Aunque el proyecto nace en la Dirección de Laboratorio e Innovación Ambiental (DLIA) cuenta con el apoyo de la dirección regional de Chiquinquirá, la Dirección de Evaluación, Seguimiento y Control Ambiental (DESCA), Dirección de Gestión del Ordenamiento Territorial (DGOAT) y Dirección Jurídica (DJUR).

La red de calidad del aire de la jurisdicción (SVCA híbrido) está integrada por 15 Estaciones (automáticas y manuales) en funcionamiento. Las funciones de la DLIA con respecto a la matriz aire incluyen el servicio de análisis de aire que va dirigido a cualquier usuario externo e interno

que produzca material particulado, NO_2, SO_2 y otros parámetros establecidos en las normas (ver marco normativo). En fuentes fijas, estos procedimientos incluyen emisión directa, también hacen monitoreo en las estaciones que componen la red de calidad de aire de la jurisdicción. El acuerdo 22 de 2014 de la CAR establece las funciones de cada dirección, en términos generales, la DESCA se encarga de emitir conceptos técnicos de evaluación, seguimiento y control ambiental, elaborar y aportar el componente técnico que requiera la DJUR como soporte para la proyección de los actos administrativos, orientar a las direcciones regionales en la evaluación, control y seguimiento ambiental, entre otros, respecto a la matriz aire, de la evaluación de permisos de emisiones atmosféricas de fuentes fijas.

DGOAT desarrolla funciones como asesorar y proponer a la dirección general, la formulación de políticas, normas y procedimientos para la planificación y el ordenamiento integral ambiental del área de jurisdicción CAR, formular, revisar, ajustar y adoptar procesos de ordenación manejo de cuencas hidrográficas ubicadas en la jurisdicción de la corporación y apoyar técnicamente la operación de los consejos de cuencas y demás instancias de participación asociadas, planificar y poner en marcha los planes de ordenamiento del recurso hídrico, los planes de manejo de acuíferos, la reglamentación de corrientes hídricas superficiales, el registro de usuarios del recurso, realizar la caracterización de las cuencas y subcuencas de la jurisdicción con la información técnica suministrada por la dirección de monitoreo, modelamiento y laboratorio ambiental, entre otras.

Por último, la DJUR asesora a la dirección general y demás dependencias en la interpretación y aplicación de las normas constitucionales y legales, asuntos jurídicos de la corporación, elaborar, estudiar, revisar, conceptuar y/o avalar los proyectos de acuerdos, resoluciones y demás actos administrativos que la corporación deba expedir para su normal funcionamiento y que deban ser sometidos a su consideración, establecer, en coordinación con las dependencias de la entidad, las directrices y lineamientos jurídicos relacionados con los temas ambientales de la competencia de la corporación, etc.

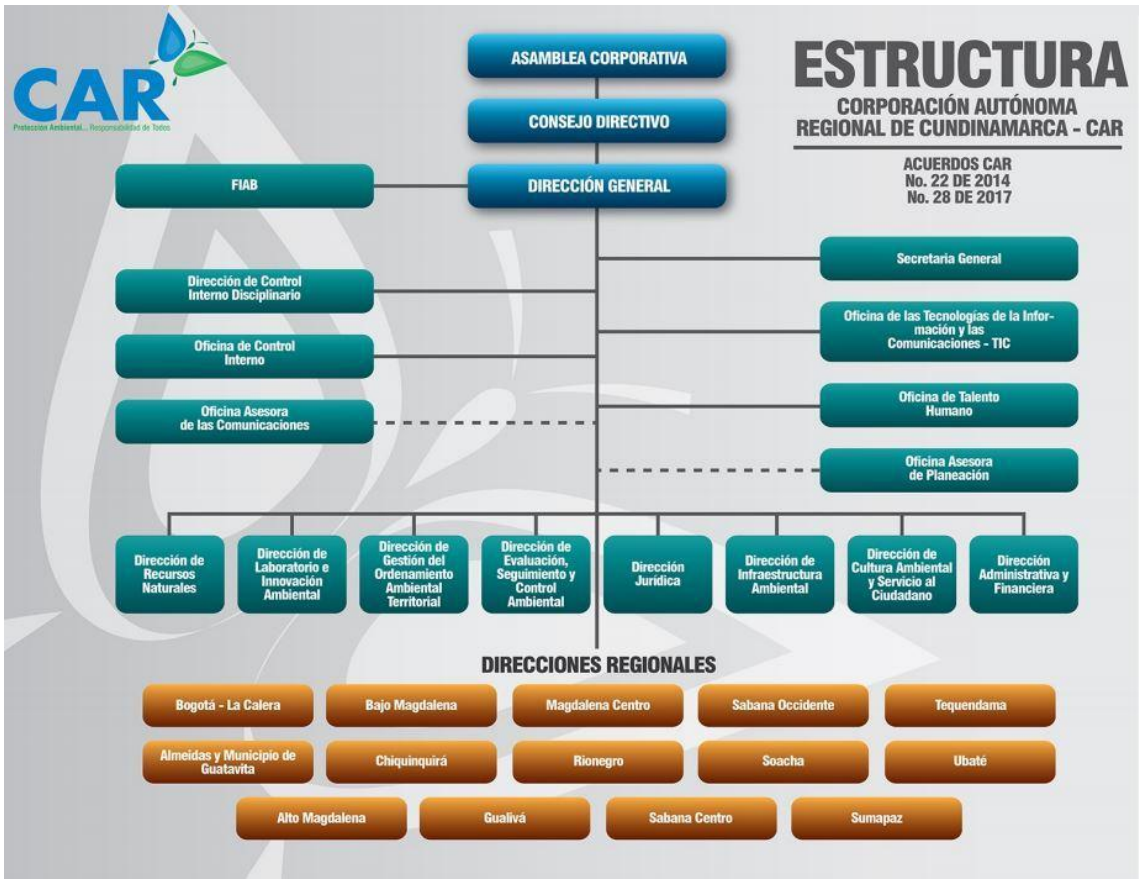


Figura 4. *Organigrama de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, tomado de https://www.car.gov.co/organigrama_funciones#contentSec.*

Ráquira, junto con San Miguel de Sema, Chiquinquirá, Saboya, Caldas y Buenavista hacen parte de los seis municipios de Boyacá que son jurisdicción de la CAR. En Ráquira se ubican 601 hectáreas del Páramo de Rabanal (Junta Directiva de la Corporación Autónoma Regional, 1992) y un sector importante de la Reserva Robledal (Acuerdo 52, 1981); áreas de protección integral de los recursos, donde confluyen actividades de minería (carbón y arcilla) y de alfarería, por lo cual existen asociaciones de productores de carbón y de artesanos (ASOALFRA), que hacen parte del problema que abordó el proyecto.

5. Metodología

5.1 Enfoque de la investigación

Enfoque mixto porque es un proceso que recolecta, analiza y vincula datos cuantitativos y cualitativos en un mismo estudio, ofrece una visión más amplia, mayor profundidad, diversidad, riqueza interpretativa y sentido de entendimiento (Hernandez, Fernández, & Baptista, 2010). Es cuantitativo porque se manejaron cifras, porcentajes y cantidades a partir de cualidades individuales de cada horno, todo esto se explica en la parte de análisis estadístico.

5.2 Alcance de la investigación

Mediante la investigación descriptiva, que utiliza el método de análisis, se logra caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. Combinada con ciertos criterios de clasificación sirve para ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagatorio. Además, puede servir de base para investigaciones que requieran un mayor nivel de profundidad (Quezada, 2010). Así mismo Hernández, Fernández y Baptista (2010) coinciden en la definición de un estudio descriptivo, adicionando que estos únicamente pretenden medir o recoger información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren, esto es, su objetivo no es indicar cómo se relacionan éstas.

5.3 Método de investigación

El método que se ajusta a las necesidades del proyecto es analítico y sintético, porque estudia los hechos, partiendo de la descomposición del objeto de estudio en cada una de sus partes para estudiarlas en forma individual y luego de forma holística e integral (Echevarría, Gómez, Aristizábal, & Vanegas, 2010)

5.4 Población objeto de estudio

El último censo del DANE (2005), indica que en Ráquira el 53.1% son hombres y el 46.9% mujeres. También muestra que solo el 88.5% de las viviendas cuentan con energía eléctrica, 16% con alcantarillado, 41.4% con acueducto y el 7.4% tiene conexión a gas natural. La tasa de analfabetismo para ese año es de 81,4%.

Según las proyecciones del DANE 2005-2020 (2008) por área, respecto a la población de Ráquira en el 2018, serían 13.907 habitantes, de los cuales como se describe en el planteamiento del problema cerca del 80% se dedica a la alfarería.

5.5 Técnicas e instrumentos para recolectar la información

Se empleó la técnica documental con fuentes primarias de información como libros, informes técnicos, revistas científicas y tesis. También, la técnica de campo con observación sistemática a través de encuestas a la población objeto de estudio con instrumentos tales como cámara fotográfica, GPS, formatos de encuestas y computador.

5.6 Técnicas para organizar, sistematizar e interpretar la información

Análisis estadístico a través de tablas y gráficas dinámicas con la hoja de cálculo de Excel y georreferenciación en Arcgis con instrumentos como computador y software.

5.7 Actividades por objetivo y esquematización por fases.

Con el fin de alcanzar el primer objetivo específico fue necesario realizar las siguientes actividades:

1. La revisión bibliográfica quedó consignada en el planteamiento del problema, objetivos y marcos de referencia.

2. Seleccionar las variables de interés relacionadas con tecnología de los hornos y calidad de aire.

La encuesta que se aplicó consta de diferentes partes, comenzando con datos generales como con nombre de la fábrica, NIT, Código CIIU, nombre de la persona encuestada, ubicación, coordenadas planas, tipo de predio, fronteras físicas, entre otros (ver anexo 1).

También datos administrativos, esta parte cuestiona aspectos como, antigüedad de la fábrica y dependencia económica.

Las características técnicas incluyen los datos que se relacionan con calidad del aire, ya que son necesarios para construir un inventario de emisiones y es de los aportes más relevantes de este trabajo. En la información tecnológica se preguntó por la cantidad de hornos en el predio, tipo de hornos, (De fuego directo o tiro invertido), si se han hecho implementaciones tecnológicas en los últimos años, la capacidad del equipo, que se determinó multiplicando el máximo número de piezas horneadas por la masa aproximada de las piezas (ambos factores presentes en la encuesta). El tiempo de operación/año se halló con la duración de cada horneada en horas, multiplicada por el número de horneadas al mes y los meses que hornean en el año, proveniencia de las arcillas y tipo de acabado.

La información energética tiene preguntas como fuente de energía de los hornos (carbón mineral, leña, gas, carbón coque u otro), consumo mensual con la respectivas unidades, procedencia del combustible, si el almacenamiento del carbón se realiza al aire libre, características de las chimeneas como diámetro, altura, presencia de puertos de muestreo, número de niples y si estos están formando un ángulo de 90º o si están alineados en el mismo nivel, forma del ducto (rectangular o circular), qué tan fácil es el acceso de una estación para hacer mediciones y si cuentan con punto de energía eléctrica, posibilidad de realizar medición de emisiones, si la altura de las chimeneas es superior a 3 metros de la estructura más cercana y si cuenta con sistema de control de emisiones.

Además de las preguntas formuladas para obtener información sobre las variables descritas anteriormente, la encuesta tuvo otras preguntas que son de interés para algunas dependencias de

la CAR y necesarias para ejecutar el proyecto de optimización tecnológica de forma conjunta y coordinada. El resultado de esta parte fue la definición de las variables a analizar.

3. Revisar un prototipo de encuesta existente en DLIA.

El resultado de esta actividad fue una estructura aprobada por los grupos de trabajo de DLIA.

4. Revisar la encuesta en conjunto con las dependencias involucradas.

En esta actividad se obtuvo una encuesta totalmente estructurada con las preguntas que sirvieron de insumo para todas las partes involucradas.

5. Hacer reuniones previas a la aplicación de la encuesta en Ráquira y en el laboratorio ambiental (sede de la CAR).

Esta actividad se planteó para crear un acercamiento con la comunidad alfarera y la alcaldía de Ráquira, con el objeto de poder trabajar articuladamente buscando la vinculación de la población al proyecto para que así mismo sea el beneficio de los alfareros y puedan aproximarse al cumplimiento de la normatividad ambiental.

6. Elaborar una guía que contenga definiciones y aclaraciones de términos técnicos para facilitar la obtención de información a los encuestadores e informantes.

Esta guía se elaboró con base en los términos a los que hace referencia la encuesta incluyendo definiciones y aclaraciones útiles para los encuestadores y los informantes en el momento del diligenciamiento de los formatos.

7. Hacer un pilotaje de encuesta para comprobar la eficacia de las preguntas y registrar el tiempo que toma diligenciarla con un artesano de Ráquira y un funcionario de la DESCA y corregir detalles en caso de ser necesario.

Se hizo un pilotaje de encuesta para mejorar deficiencias.

8. Capacitar al grupo técnico que colaborará aplicando las encuestas.

Basados en el inventario de emisiones de la alcaldía de Bogotá (Alcaldía mayor de Bogotá, 2009), fue necesario hacer gran énfasis en las estrategias para lograr un diligenciamiento apropiado de los formatos para registrar las encuestas, se dedicó una gran parte del tiempo a dar explicaciones detalladas referentes a la estructura de la encuesta, el significado de cada campo, su importancia, y las condiciones para que las entradas sean válidas. Todos los encuestadores portaron un carné de la corporación, ropa distintiva, cámara fotográfica y GPS. Se imprimieron las encuestas asignando un código único para cada uno y llevando registro de que códigos se entregaban a cada pareja.

9. Organizar y dividir el grupo en el territorio.

Se inició el trabajo de campo por las veredas en donde se concentra la actividad alfarera, para esta actividad los líderes de la asociación ofrecieron ayuda para guiar a los grupos en el territorio. Se conformaron 10 parejas de trabajo, cada una asociada a un guía que conocía la región.

Los guías identificaron las veredas en dónde se encontraba la mayor cantidad de hornos para enviar más grupos a esos sectores (Vereda Resguardo Occidente, Vereda Resguardo Oriente y casco urbano), para los hornos que se encontraban más lejos del casco urbano fueron dispuestos los vehículos de la corporación (Vereda Chinguichanga, Candelaria Oriente, Gachaneca, Ollerías, Torres, sector Aguabuena y sector La comunidad). El barrido de todas las veredas se hizo en 2 días, trabajando desde las 7am hasta las 5pm.

Se entregaron los formatos para encuesta y un GPSMAP 64st marca Garmin a cada pareja, enseñando como marcar los puntos requeridos en los dispositivos, como guardarlos y su funcionamiento general. Se marcaron los GPS del 1 al 10 para llevar un registro de códigos de GPS entregados, los responsables. Dicho dispositivo estaba configurado para tomar coordenadas planas.

10. Aplicar las encuestas y recolectar los registros de las mismas.

La encuesta que se aplicó es semiestructurada, fue diseñada para trabajar con toda la comunidad alfarera a excepción de que no hubiera quien atendiera la encuesta en el predio, sin embargo, se tomaron las coordenadas de todos los predios que tuvieran horno con chimenea visible marcando el punto en el GPS respectivo. Al terminar el diligenciamiento de los formatos se entregaron presentes de la corporación a los artesanos. Al final de cada día se hizo una realimentación de la jornada.

El segundo objetivo específico requiere:

1. Definir el software a usar. Adquirir la cartografía base que sea necesaria para trabajar en el SIG y poder visualizar la ubicación de los hornos sobre capas del municipio de Ráquira.

Se estableció que el trabajo se desarrollaría en Arcgis teniendo en cuenta que es el software en dónde se pueden visualizar las capas de la base de datos espaciales que maneja la CAR, en dónde se hizo la solicitud para obtener la geodatabase, allí se encontró toda la cartografía necesaria del municipio. Adicionalmente para facilitar la descarga de los puntos guardados en los GPS se usó Basecamp.

2. Tabular los datos en la hoja de cálculo de Excel y filtrar la información según las categorías de los datos y las cifras de interés para el proyecto.

Para digitar los datos se organizó un formato que fue explicado y compartido a los grupos. Una vez las parejas tuvieron sus encuestas en formato digital se recolectaron los formatos en físico diligenciados, los que sobraron y se consolidaron todas las digitalizaciones.

3. Insertar las coordenadas de los hornos en el SIG con ayuda del software y las capas seleccionadas.

En las encuestas aplicadas se registraron y guardaron las coordenadas de cada predio en dónde operaban hornos en los GPS, para poder trabajar dichos los datos, se descargaron en Basecamp y los archivos obtenidos se montaron en Arcmap de Arcgis versión 10.5.1 para poder visualizar la distribución de las chimeneas y que puedan ser sobrepuestos sobre las capas que se necesiten a futuro.

Finalmente, para cumplir con el último objetivo se necesita:

1. Generar el análisis con gráficas y tablas en la hoja de cálculo de Excel.

En esta sección se explica cómo fueron tratadas las variables de la encuesta. Con la cantidad de hornos por predio se halló el total de los mismos con una sumatoria. Se estimó la cantidad de hornos por cada tipo (Tiro directo o tiro invertido) según la geometría (circular o rectangular). Con el tipo de combustible se logró estimar el número de hornos por combustible y la procedencia de este mismo. También se calculó la cantidad de personas que han hecho modificaciones o reconversiones tecnológicas en sus hornos en los últimos 15 años.

Se determinó el número hornos que en donde se trabaja cada el tipo de acabado (engobe, esmaltado, tallado, natural u otros). Se encontró el porcentaje de predios que almacenan el carbón o la leña al aire libre. Se estimó cuántos hornos cumplen con las características aptas de la chimenea para hacer una medición directa de las emisiones, cuántos cuentan con sistema de

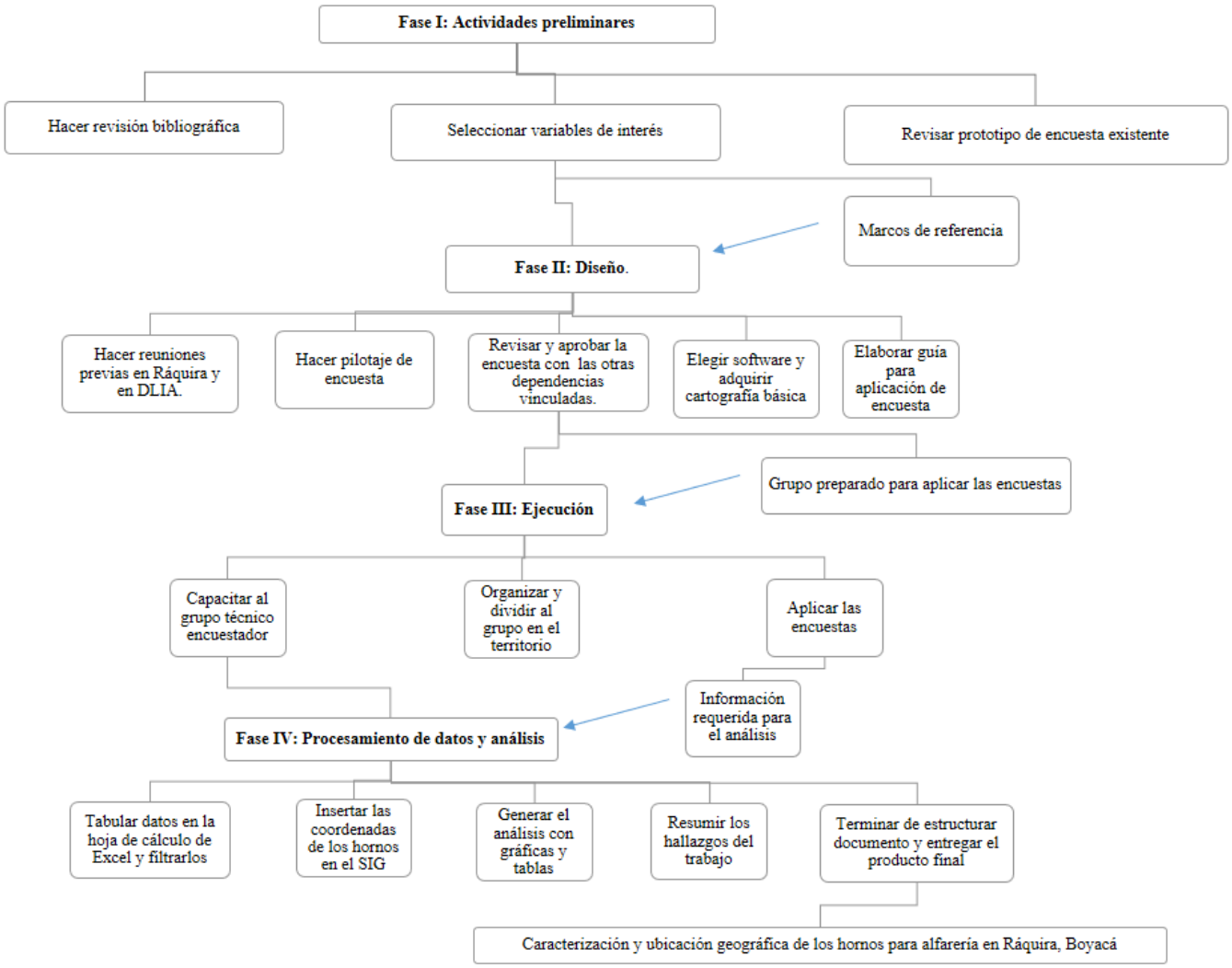
control de emisiones y qué sistema en caso de tenerlo. El dato del tiempo de operación sirve para la posterior estimación de emisiones, así como la capacidad de los mismos y quedaron consignados en la base de datos.

2. Resumir los hallazgos del trabajo de campo para generar conclusiones, recomendaciones y la base de la modelación ambiental.

3. Entregar el producto en la corporación, terminar de estructurar el documento y hacer la presentación final.

Se elaboró un diagrama para sintetizar las actividades de la metodología, estas se asociaron a un producto principal que sale de cada fase, hasta llegar al resultado final.

Figura 5. *Resumen de la metodología por fases de trabajo.*



Fuente: (Autora, 2018)

5.8 Plan de trabajo por objetivos

Para dar cumplimiento a los objetivos planteados en el presente proyecto se asignaron tiempos para la ejecución de las actividades, las personas involucradas, la función que cumplieron dichas personas, el costo aproximado de cada actividad según el presupuesto estimado en la tabla 4 y el resultado esperado al finalizar cada actividad.

Tabla 1. *Matriz plan de trabajo primer objetivo específico.*

Actividades	Tiempo de ejecución	Participantes	Técnicas e Instrumentos	Procedimientos
1. Hacer una revisión bibliográfica	2 semanas (22/01/18-4/02/18)	La autora revisa publicaciones previas.	Documental, libros, bases de datos, revistas científicas y computador	Extraer ideas importantes de cada referencia consultada y hacer resumen en orden cronológico
2. Seleccionar las variables de interés relacionadas con tecnología de los hornos y calidad de aire.	1 semana (5/02/18-11/02/18)	La autora determina que variables se relacionan con el problema y pueden contribuir al trabajo.	Documental, referencias, computador	Revisar fuentes de información y variables de inventarios de emisiones previos
3. Revisar un prototipo de encuesta existente en DLIA	2 semanas (12/02/18-25/02/18)	La autora y la corporación analizan, evalúan las preguntas y la redacción	Documental, computador	Releer preguntas, revisar claridad, coherencia y corregir.
4. Revisar la encuesta en conjunto con las dependencias involucradas.	12 días (26/02/18-9/03/18)	Partes de la CAR vinculadas (ver marco institucional)		Revisar cuales son los datos requeridos y comparar con las preguntas
5. Hacer reuniones previas a la aplicación de la encuesta en Ráquira y en DLIA.	04/03/18 08/03/1810 18/03/18	La autora y la corporación son investigadores, la comunidad alfarera y alcaldía de Ráquira son informantes.	De campo, vehículos	Contactar líderes, programar reuniones y visitar diferentes predios
6. Hacer un pilotaje de encuesta	1 día 11/02/18	Ingeniero de la DESCA fue encuestador y un artesano fue informante	De campo, vehículo y profesional	Encuestar a un artesano, registrar el tiempo que toma diligenciar el formato y la claridad de las preguntas.
7. Elaborar guía para aplicación de encuesta	15 días (12/03/18 26/03/18)	La autora diseña una guía.	Documental, referencias bibliográficas y computador	Recopilar definiciones de conceptos técnicos y aclaraciones de las preguntas.

8. Capacitar al grupo técnico que colaborará aplicando las encuestas e impresión de formatos	28/03/18	La autora y el grupo técnico de la corporación se reúnen para prepararse	De campo, micrófono, parlante, profesionales y guía de conceptos.	Explicar importancia de la encuesta y cada pregunta e imprimir formatos asignando código único.
9. Organizar y dividir al grupo en el territorio.	2 días (2/04/18-3/04/18)	La autora y el grupo técnico de la corporación son investigadores y comunidad alfarera informantes.	De campo, copias de la encuesta, bolígrafos, GPS, cámaras fotográficas	Conformar parejas y asignar veredas comenzando por las de mayor concentración de fuentes.
10. Aplicar las encuestas y recolectar de los registros de las mismas.	3 días (2/04/18-4/04/18)	La autora y el grupo técnico de la corporación se desempeñan como encuestadores y la comunidad alfarera como informante	De campo, vehículos, recursos para la manutención del grupo	Visitar predios, diligenciar el registro con las preguntas, observar cuidadosamente, hacer anotaciones y tomar fotografías.

Fuente: (Autora, 2018)

Tabla 2. *Matriz plan de acción segundo objetivo específico.*

Actividades	Tiempo de ejecución	Participantes	Técnicas e instrumentos	Procedimientos
1. Definir el software y la cartografía base necesaria.	1 día (15/03/18)	Autora como investigadora y el docente como asesor concretan el material necesario.	Documental, computador y software	Recibir tutoría y solicitar la Geodatabase de la CAR.
2. Tabular los datos y filtrar la información.	4 días (2/04/18-05/04/18)	Autora procesa los datos	Análisis estadístico, computador y software	Digitalizar la información, hacer tablas dinámicas.
3. Insertar las coordenadas de los hornos en el SIG	1 día 6/04/18	Autora procesa y analiza datos	Procesamiento de datos, computador, software y Geodatabase de la CAR	Crear archivo en Excel con un ID de cada dato y las coordenadas planas para ligarlo a las capas del SIG.

Fuente: (Autora, 2018)

Tabla 3. *Matriz plan de acción tercer objetivo específico.*

Actividades	Tiempo de ejecución	Participantes	Técnicas e instrumentos	Procedimientos
1. Generar análisis con gráficas y tablas.	2 días (9/04/18-10/04/18)	Autora, analiza y organizan los datos recolectados.	Análisis estadístico, síntesis, computador, software y referencias bibliográficas.	Hacer gráficas dinámicas a partir de las tablas.
2. Resumir los hallazgos del trabajo de campo para generar una base de la modelación ambiental.	1 día 11/04/18			Resaltar información relevante, redactar analizar, concluir y recomendar con base a las referencias consultadas y la experiencia en campo

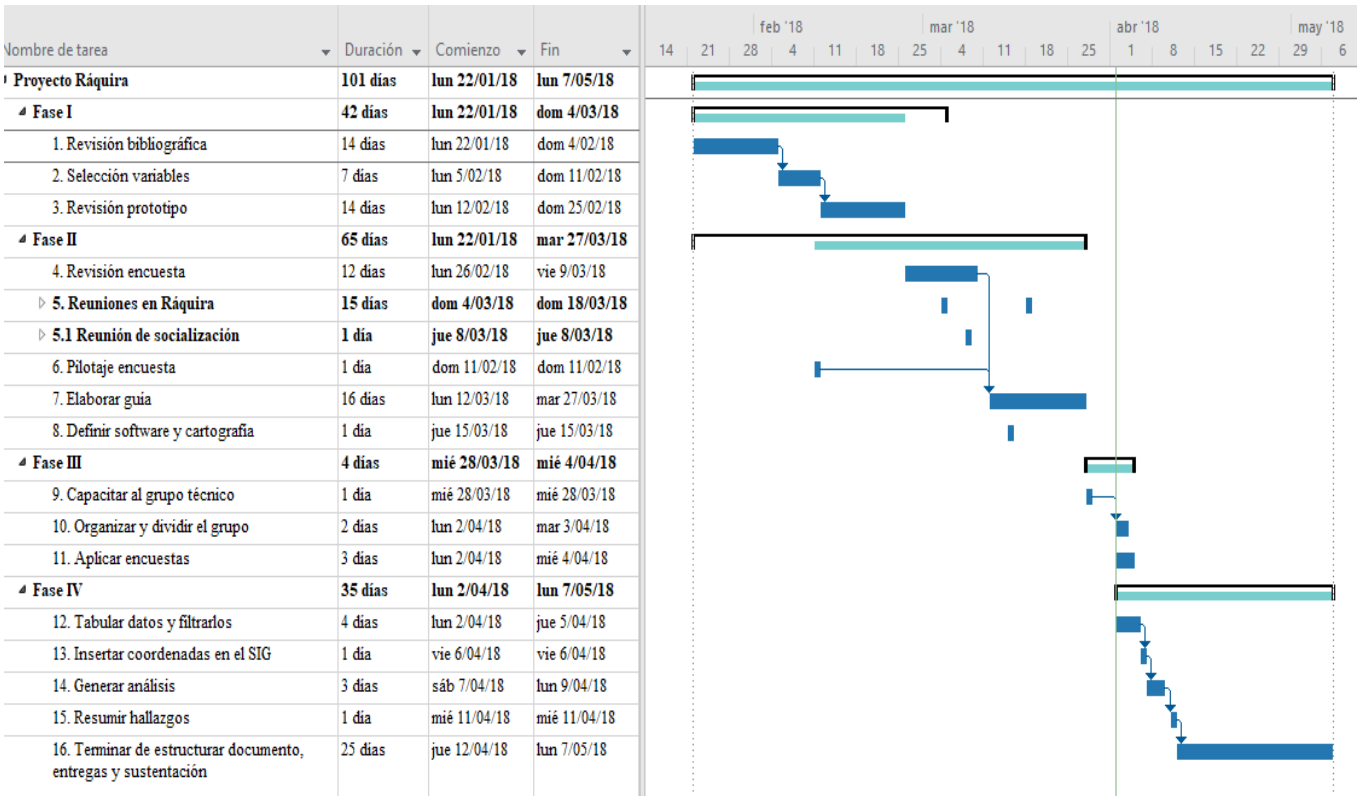
3. Terminar de estructurar el documento y entregar producto final	26 días (12/04/18-7/05/18)	Documental y computador	Hacer ajustes finales, entrega a jurados, sustentación y entrega final.

Fuente: (Autora, 2018)

6. Cronograma

Se presenta el cronograma de trabajo y los tiempos de ejecución para las actividades descritas divididas en cuatro fases que también se muestran en el diagrama resumen de la metodología.

Figura 6. *Diagrama de Gantt para las cuatro fases del proyecto.*



Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin
Proyecto Ráquira	**101 días**	**lun 22/01/18**	**lun 7/05/18**
Fase I	**42 días**	**lun 22/01/18**	**dom 4/03/18**
1. Revisión bibliográfica	14 días	lun 22/01/18	dom 4/02/18
2. Selección variables	7 días	lun 5/02/18	dom 11/02/18
3. Revisión prototipo	14 días	lun 12/02/18	dom 25/02/18
Fase II	**65 días**	**lun 22/01/18**	**mar 27/03/18**
4. Revisión encuesta	12 días	lun 26/02/18	vie 9/03/18
5. Reuniones en Ráquira	**15 días**	**dom 4/03/18**	**dom 18/03/18**
5.1 Reunión de socialización	**1 día**	**jue 8/03/18**	**jue 8/03/18**
6. Pilotaje encuesta	1 día	dom 11/02/18	dom 11/02/18
7. Elaborar guía	16 días	lun 12/03/18	mar 27/03/18
8. Definir software y cartografía	1 día	jue 15/03/18	jue 15/03/18
Fase III	**4 días**	**mié 28/03/18**	**mié 4/04/18**
9. Capacitar al grupo técnico	1 día	mié 28/03/18	mié 28/03/18
10. Organizar y dividir el grupo	2 días	lun 2/04/18	mar 3/04/18
11. Aplicar encuestas	3 días	lun 2/04/18	mié 4/04/18
Fase IV	**35 días**	**lun 2/04/18**	**lun 7/05/18**
12. Tabular datos y filtrarlos	4 días	lun 2/04/18	jue 5/04/18
13. Insertar coordenadas en el SIG	1 día	vie 6/04/18	vie 6/04/18
14. Generar análisis	3 días	sáb 7/04/18	lun 9/04/18
15. Resumir hallazgos	1 día	mié 11/04/18	mié 11/04/18
16. Terminar de estructurar documento, entregas y sustentación	25 días	jue 12/04/18	lun 7/05/18

Fuente: (Autora, 2018)

7. Presupuesto

Se estimaron los costos teniendo en cuenta los profesionales y ayudantes que contribuyeron al desarrollo del proyecto, los materiales para la elaboración del presente documento y el trabajo de campo, el valor por uso de equipos propios y demás.

Tabla 4. Presupuesto general

Rubros	PRATICANTE	CAR	Total en pesos
1. Personal	$ 7.230.000	$ 17.210.000	$ 24.440.000
2. Equipos propios	$ 400.000	$ 3.700.000	$ 4.100.000
3. Materiales	$ 84.000	$ 80.000	$ 164.000
4. Salidas de campo	$ 140.000	$ 4.910.000	$ 5.050.000
5. Refrigerios - relaciones publicas	$ 40.000	$ 2.600.000	$ 2.640.000
6. Software	$ 346.000	$ 360.000	$ 706.000
TOTALES	$ 8.240.000	$ 28.860.000	$ 37.100.000

Fuente: (Autora, 2018)

8. Resultados

En la primera fase del proyecto se lograron definir los objetivos de acuerdo con el planteamiento del problema con su respectiva justificación y sustento teórico, se definieron las variables, que posteriormente fueron plasmadas en la encuesta.

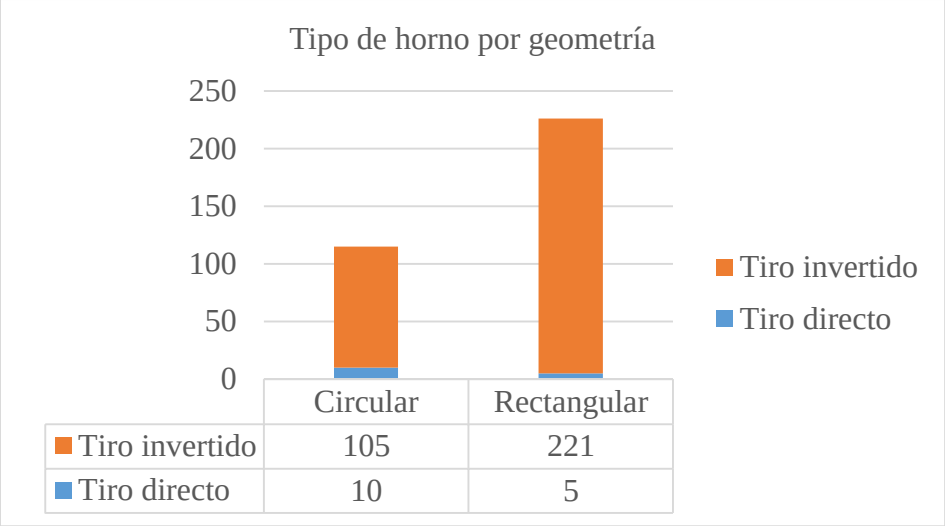
La fase de diseño tuvo como resultados el formato de encuesta final (ver anexo 1), las actas de reuniones llevadas a cabo en la dirección de laboratorio e innovación ambiental (ver anexo 2 y 3) y la guía para capacitar al grupo técnico encuestador (ver anexo 5), entregada de manera impresa a cada integrante. Se logró una aprobación por parte de los artesanos y buena disposición para el trabajo.

8.1 Inventario, caracterización tecnológica de los hornos y análisis estadístico.

En la ejecución se alcanzó el primer objetivo específico con la realización de las siguientes actividades, que permitieron caracterizar los hornos y conocer la cantidad de los mismos. Se hizo una reunión con el grupo técnico encuestador para socializar y capacitar a las personas con el fin de poder diligenciar los formatos correctamente (ver anexo 4). Se logró una buena organización contando con el apoyo de cuatro Raquireños referidos de ASOALFRA, por lo que la aplicación de las encuestas fue exitosa, se hizo el barrido por las veredas, en cada predio. Se aplicaron 292 encuestas que fueron pasadas a un formato digital y se obtuvo que, en Ráquira, Boyacá hay aproximadamente 357 hornos par la producción alfarera, distribuidos en 285 predios, teniendo en cuenta que hay lugares en donde opera más de un horno

En el proceso preliminar a la aplicación de las encuestas, visitas previas y reuniones con los artesanos, se identificó la existencia de dos tipos de hornos, de tiro directo (el 95,60% son de este tipo) o de tiro invertido (4,40%). En el análisis la información se obtuvo la distribución del tipo de horno como se muestra en la figura 7, por geometría, rectangular (66,28%) o circular (33,72%). En los hornos de tiro directo hay 6 que funcionan con leña, 6 con carbón y 2 que no reportaron el dato del combustible. Los de tiro invertido se dividen entre gas natural, GLP y carbón mineral.

Figura 7. *Tipo y geometría de los hornos para la producción alfarera de Ráquira.*



Fuente: (Autora, 2018)

De todos los hornos existentes (357), se logró obtener en promedio el 80% de los datos completos para cada horno porque no había gente que atendiera la encuesta o no fue posible extraer la información debido a la extensión de la encuesta. Por esto se explica que en el análisis se tengan menos datos respecto a la cantidad total de hornos reportados. Se logró tener la máxima información posible, aunque en muchas ocasiones las personas fueron difíciles de tratar o se desviaban de las preguntas. Se manejó una actitud de respeto y tolerancia ante las afirmaciones de los artesanos.

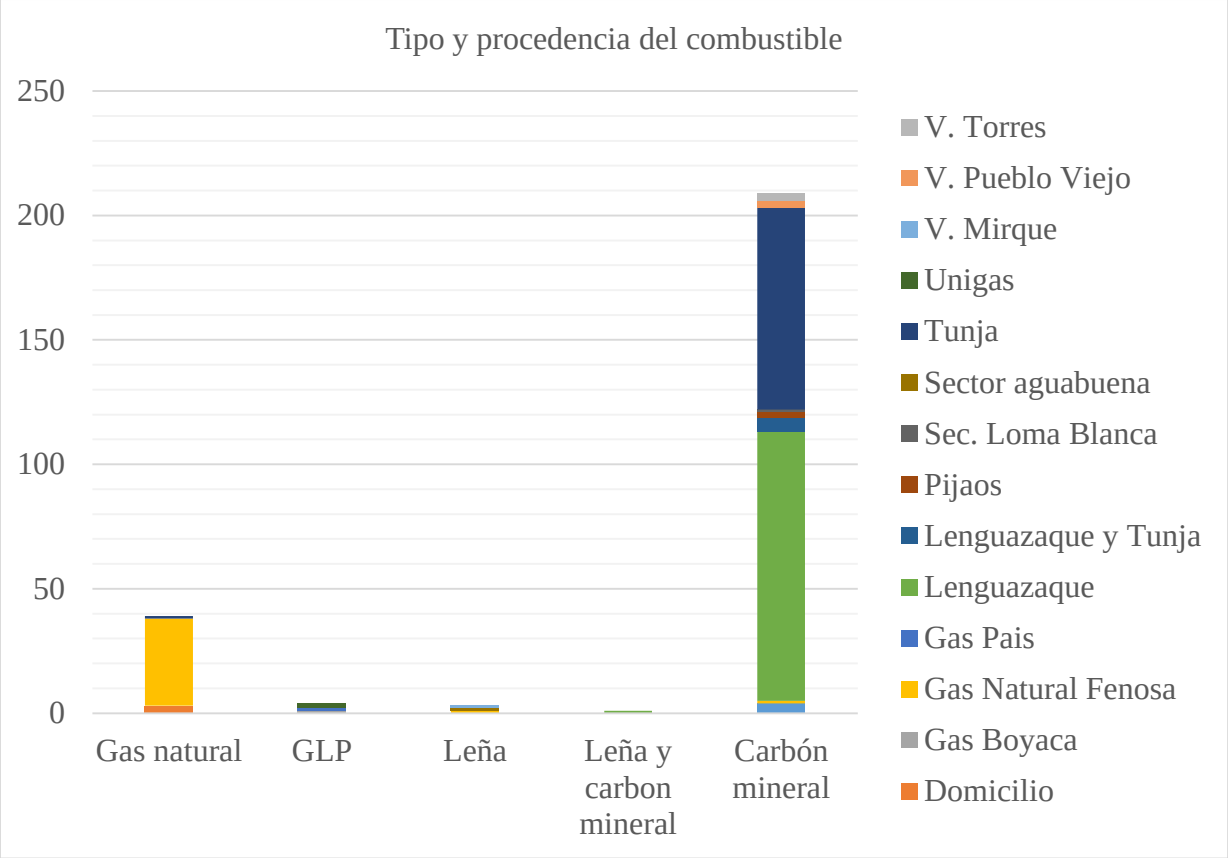
La figura 8 muestra que el combustible que predomina en los hornos para producción alfarera de Ráquira es el carbón mineral (80%), que en su mayoría es traído de Lenguazaque, seguido por Tunja, una menor cantidad de personas afirmaran que traen el carbón de veredas en Ráquira (Torres, Pueblo Viejo y Mirque), sin embargo, este dato debería ser verificado. Los hornos que se alimentan con gas (16%), principalmente los abastece la empresa Gas natural Fenosa, el 2% utiliza GLP de Gas país, aquellos que todavía funcionan con leña manifestaron que la toman de veredas en el mismo municipio (2,0%). Un mínimo porcentaje opera su horno con carbón y leña (0,3%). En la tabla 5 se muestra el número de hornos por tipo de combustible.

Tabla 5. *Número de hornos por combustible.*

Tipo de combustible	Número de hornos	Porcentaje
Carbón mineral	240	80,0
Gas natural	48	16,0
GLP	5	1,7
Leña	6	2,0
Leña y carbón mineral	1	0,3
Total datos	**300**	100

Fuente: (Autora, 2018)

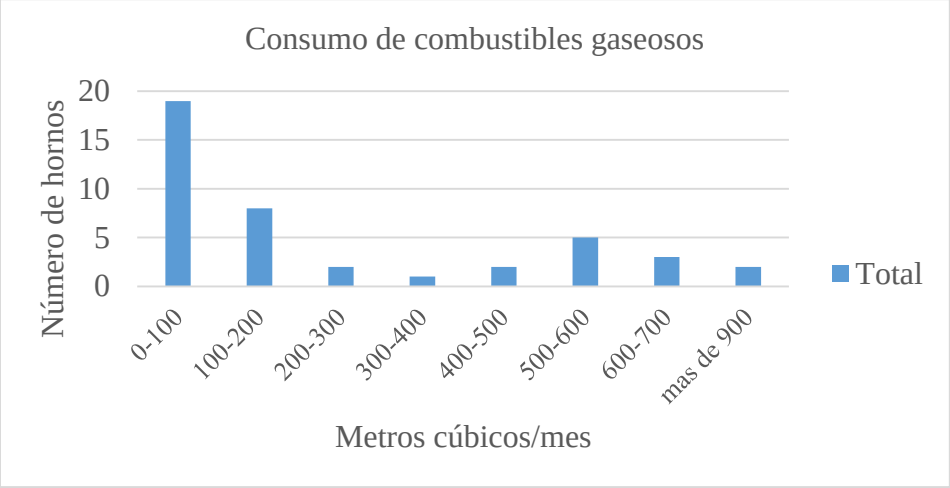
Figura 8. *Procedencia y tipo de combustible con el que alimentan los hornos.*



Fuente: (Autora, 2018)

En la figura 9 se puede observar que la mayoría de hornos manejan consumos de gas entre 0 y 200 metros cúbicos mensuales. El 45.2% consumen entre 0 y 100 metros cúbicos mensuales, el 19% consumen entre 100 y 200, el 11,9% consume entre 500 y 600. El 7,1 % consume entre 600 y 700 metros cúbicos mensuales. En los rangos de 200 a 300, de 400 a 500 y en más de 900, hay un porcentaje de 4,8% para cada uno. Hay un mínimo porcentaje que consume entre 300 y 400 (2,4%) metros cúbicos mensuales.

Figura 9. *Consumo mensual de combustibles gaseosos por número de hornos en rangos de 100.*

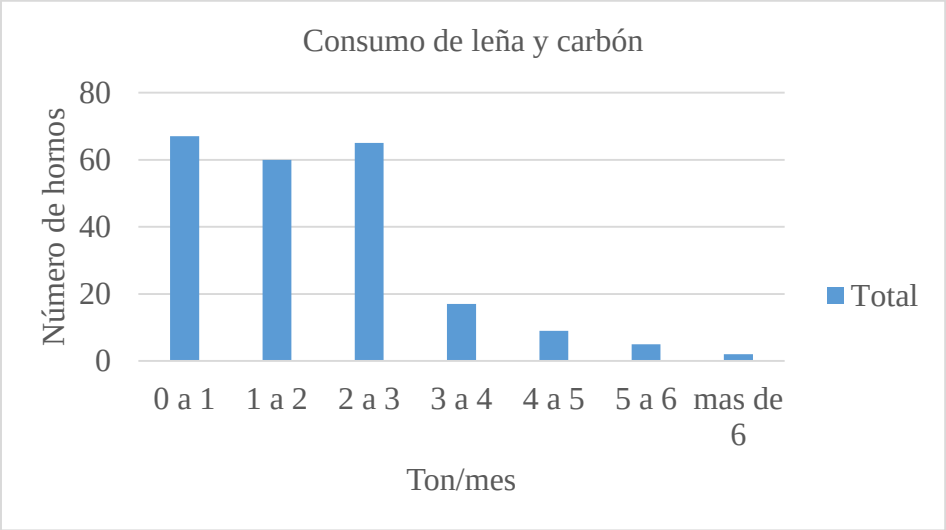


Fuente: (Autora, 2018)

En la figura 10, se puede ver que la gran mayoría de hornos consumen entre 0,05 a 3 toneladas mensuales, el 29,8% consume entre 0,05 y 1 tonelada mensual, el 26,7% consume entre 1 y 2 toneladas mensuales, el 28,9 % consume de 2 a 3 toneladas mensuales, el 7,6% consume entre 3

y 4 toneladas mensuales, el 4% consume entre 4 y 5 toneladas mensuales, el 2,2% consume entre 5 y 6 toneladas mensuales. Solo el 0,9% consume más de 6 toneladas mensuales. El consumo promedio mensual de carbón fue 1,78 ton, el de gas fue 288 m³/ mes y el de leña fue 0,15 ton/ mes.

Figura 10. *Consumo mensual de leña y carbón mineral por número de hornos en rangos de 100.*

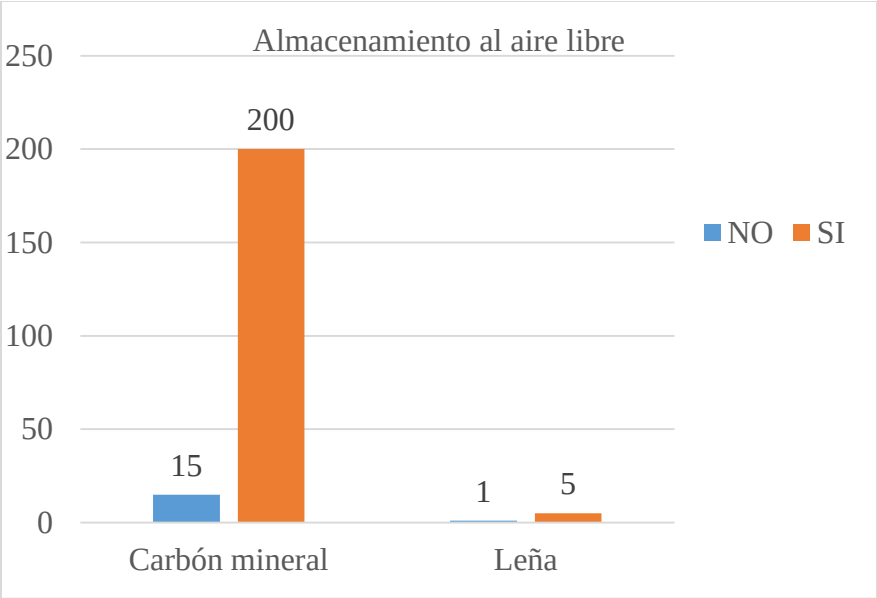


Fuente: (Autora, 2018)

Como no hay datos completos para cada horno, valdría la pena regresar a aquellos predios en dónde no se logró completar la encuesta con las coordenadas del registro para ampliar la información en una futura investigación y estimar los totales de combustibles consumidos al mes en los hornos alfareros de Ráquira.

La mayoría de personas almacenan el carbón y la leña en la intemperie (97,29%), se reportan 16 personas que no almacenan estos combustibles al aire libre (2,71%), 5 de las personas que alimentan su horno con leña la almacenan al aire libre, una persona no la almacena al aire libre.

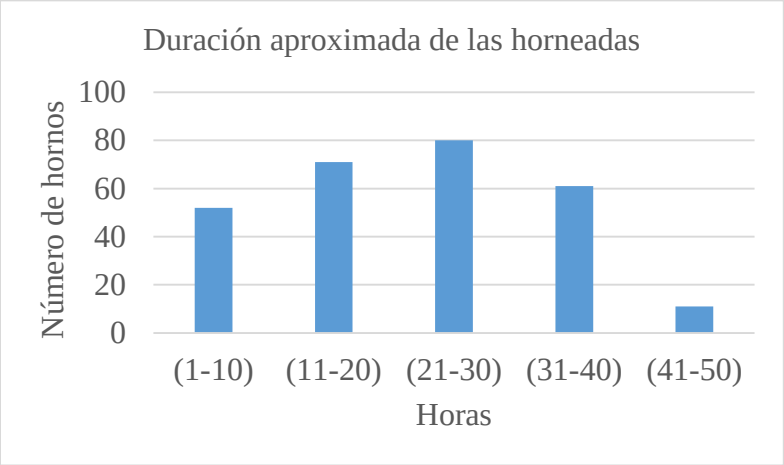
Figura 11. *Almacenamiento al aire libre de leña y carbón.*



Fuente: (Autora, 2018)

En cuanto a la duración de las horneadas, en el 29,1% de los hornos, la horneada dura entre 21 y 30 horas. En el 25,8% de hornos la horneada dura entre 11 y 20 horas. En el 22,2% de hornos la horneada tarda entre 31 a 40 horas. En el 18,9% de los hornos la horneada demora entre 1 y 10 horas y en el 4% de los hornos la cocción tarda más de 40 horas. En la figura 12 se puede observar el número de hornos que se encuentran dentro de cada rango de tiempo. Una horneada dura en promedio 18,66 horas.

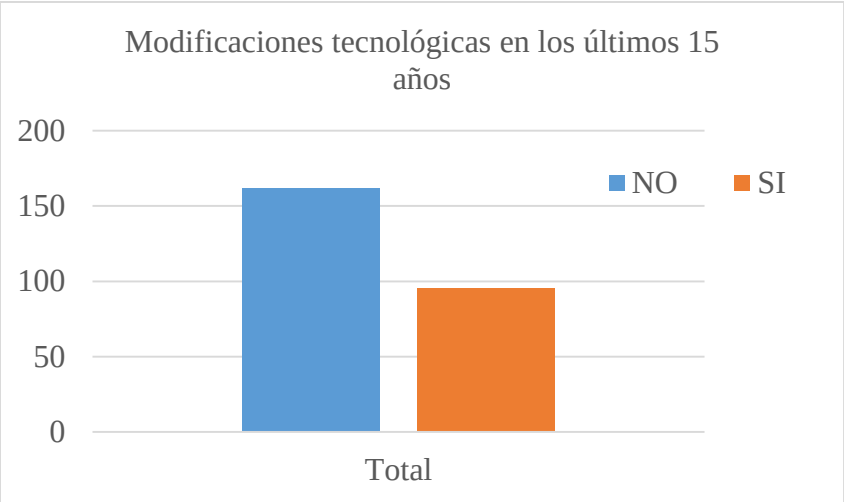
Figura 12. *Duración en horas de la cocción de las piezas en cada horno.*



Fuente: (Autora, 2018)

Respecto a las modificaciones tecnológicas, 162 personas (63%) afirman no haber realizado modificaciones o reconversiones tecnológicas en los hornos en los últimos 15 años. El 37% de la población si ha hecho.

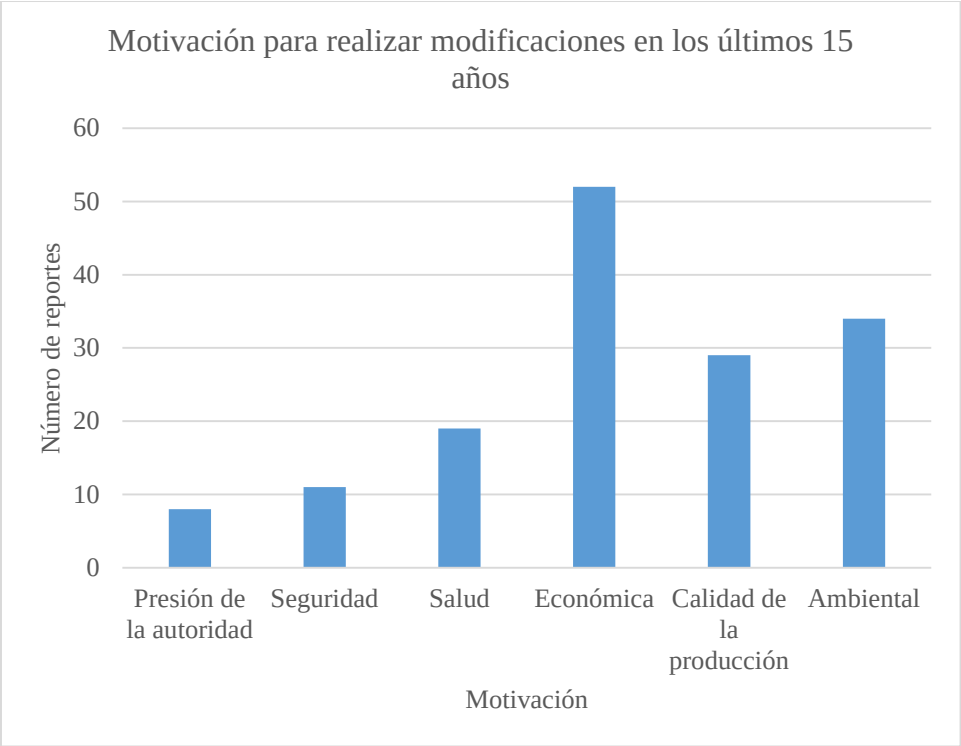
Figura 13. *Modificaciones tecnológicas en los hornos o reconversión en los últimos 15 años.*



Fuente: (Autora, 2018)

Las personas que manifestaron haber hecho modificaciones o reconversión, fueron motivados por razones económicas en un son 34%, 22,2% ambientales, 19% por mejorar la calidad de la producción, 12,4% por salud, 11,2% por presión de la autoridad y 7,2% por seguridad.

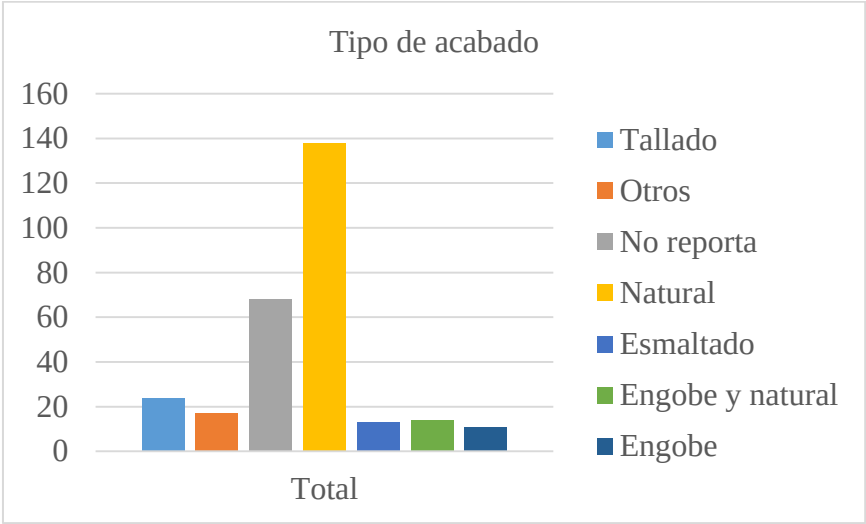
Figura 14. *Motivaciones para hacer modificaciones tecnológicas en los hornos o reconversión en los últimos 15 años.*



Fuente: (Autora, 2018)

Gran parte de las piezas que se fabrican en Ráquira tienen acabado natural (48,42%), seguido de los objetos tallados (8,42%), el esmaltado (4,56%), engobe y natural (4,91%) y engobe (3,86%), el 23,86% no reportó el dato y el 5,96% maneja otros tipos de acabado.

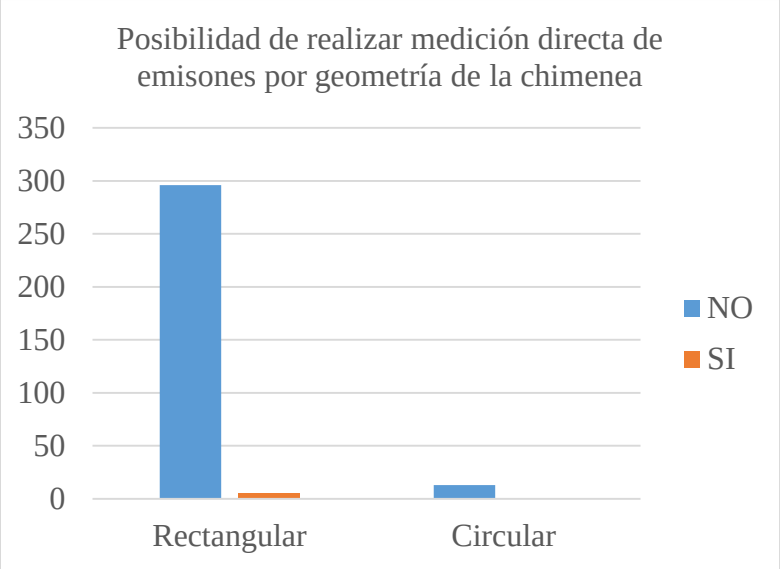
Figura 15. *Tipo de acabado de las piezas.*



Fuente: (Autora, 2018)

Lo que se denominó "Información ambiental" en el formato de la encuesta se resume en el siguiente gráfico que define si se puede o no realizar una medición directa dependiendo de los requisitos explicados en la guía para la aplicación de la encuesta. Se obtuvo que 5 hornos de chimenea rectangular cuentan con niples alineados en el mismo nivel, 3 puertos de muestreo, fácil acceso para la estación de medición y punto de energía.

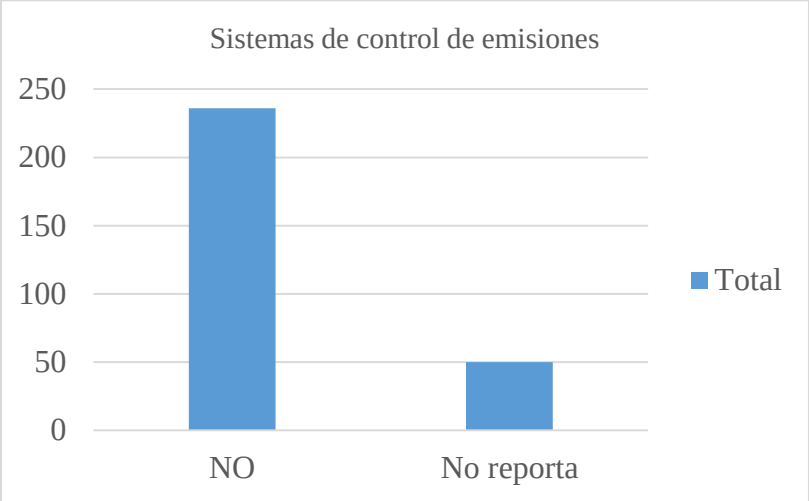
Figura 16. *Posibilidad de realizar medición directa de emisiones dependiendo de la geometría y los parámetros del protocolo de fuentes fijas adoptado en Colombia.*



Fuente: (Autora, 2018)

Finalmente, de las personas encuestadas ninguna afirma que hace uso de algún sistema de control de emisiones. De los que aparecen como no reporta fue porque no se logró obtener la información por dificultades en la aplicación de las encuestas. La geometría predominante entre de las chimeneas de Ráquira es cuadrada o rectangular, 95,65%, que equivale a 308 hornos, 14 hornos tienen chimenea circular (4.35%).

Figura 17. *Uso de algún sistema de control de emisiones.*



Fuente: (Autora, 2018)

En la figura se puede observar una chimenea de un horno en operación emitiendo contaminantes a la atmósfera sin ningún sistema de control. En los anexos 6 hay algunas imágenes de los hornos de Ráquira.

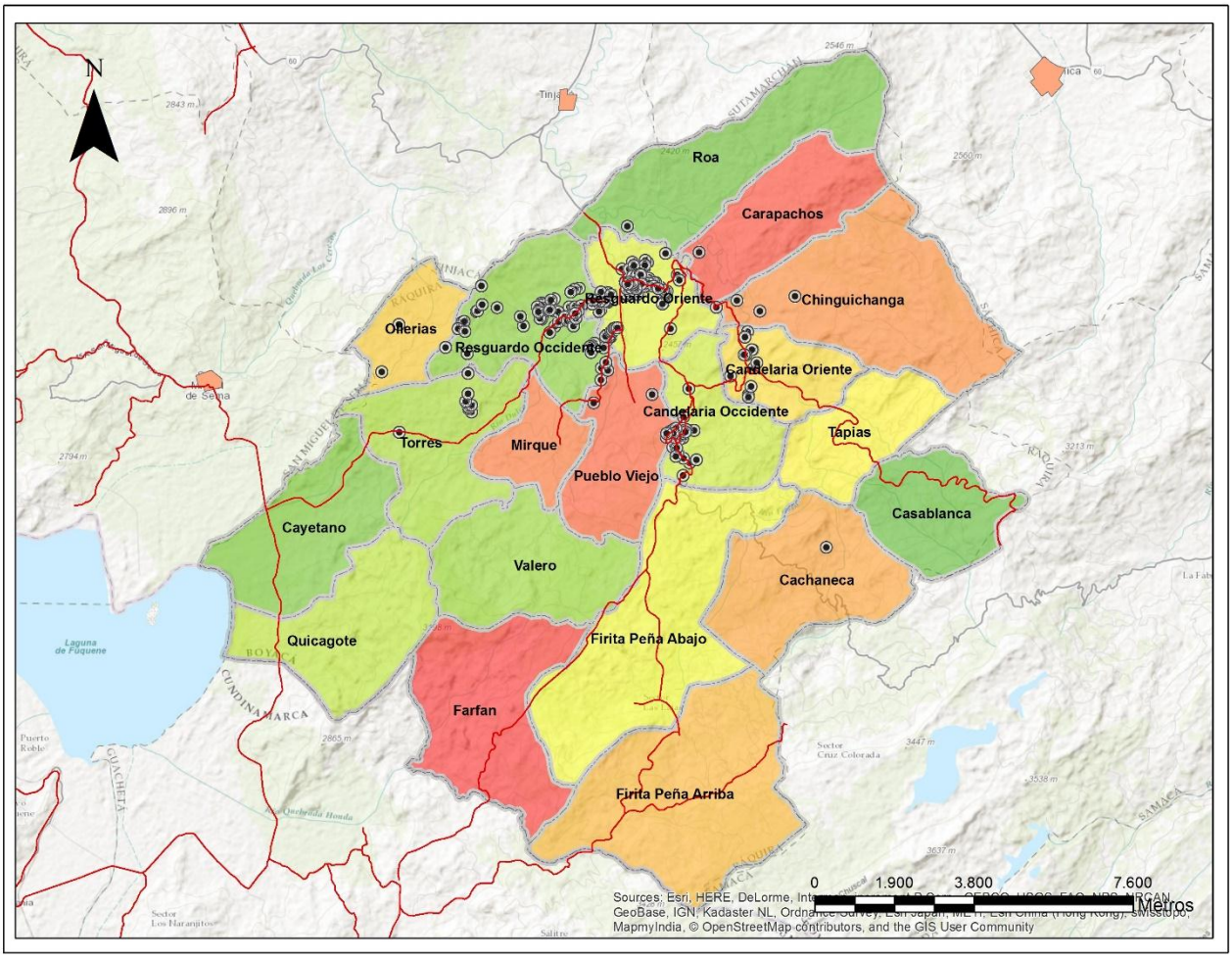
Figura 18. *Chimenea de geometría cuadrada en Ráquira.*

Fuente: (Autora, 2018)

8.2 Ubicación geográfica de los hornos.

Consecuentemente, para cumplir el segundo objetivo específico, la ubicación de los predios en dónde operan los hornos fue plasmada en el mapa con la división veredal a continuación:

Figura 19. *Ubicación de los predios en donde hay hornos para producción de alfarería en Ráquira, Boyacá.*



Fuente: (CAR, 2018)

La mayor concentración de predios con hornos para alfarería se da en las veredas Resguardo Oriente (49,1%), Resguardo Occidente (28,1%) y Candelaria Occidente (7,7%). En las otras veredas hay una menor cantidad de predios , Candelaria oriente tiene el 4,5%, en Torres esta el 3,8%, en Pueblo viejo se encuentra el 3,5%, en Chinguichanga el 1,4%, en Ollerías el 0,7%, en Gachaneca, Carapachos y Roa hay un horno en cada una. En la tabla 6 se encuentra el número de predios por vereda.

Tabla 6. *Número de predios en donde operan hornos para producción alfarera en Ráquira por veredas*.

Nombre de la Vereda	Total
Gachaneca	1
Candelaria Occidente	22
Candelaria Oriente	13
Nombre de la Vereda	**Total**
Carapachos	1
Chinguichanga	4
Ollerías	2
Pueblo Viejo	10
Resguardo Occidente	80

Resguardo Oriente	140
Roa	1
Torres	11
Total general	285

Fuente: (Autora, 2018)

8.3. Bases para el diagnóstico sobre la calidad del aire en Ráquira y para la intervención por parte de la CAR.

Respecto al tercer objetivo específico, una vez expuestos las características de los hornos se confirma que las fuentes fijas del municipio que están generando altos niveles de PM_{10} por la cantidad de fuentes y los combustibles utilizados, principalmente carbón.

Los artesanos hacen en promedio 10,88 horneadas/ año y consumen 1,72 ton/mes de carbón, entonces, en Ráquira se queman aproximadamente 4493,23 toneladas de carbón al año en hornos artesanales de combustión incompleta, afectando así la calidad del aire del municipio. El último valor fue el producto de los promedios de duración de horneada y consumo de carbón multiplicados por la cantidad de hornos a carbón identificados.

La ubicación geográfica de los hornos determinará posibles modificaciones en el sistema de vigilancia de calidad del aire dado el volumen de hornos concentrados en pequeñas áreas del municipio (ver tabla 7). Se relacionó la concentración de hornos con el área por vereda. Además, con la densidad poblacional del municipio de pudo obtener el número de habitantes impactados directamente por vereda y su relación con la población total del municipio.

De la misma manera, las veredas con mayor concentración de hornos tienen mayor densidad de los mismos por kilómetro cuadrado.

Área: 233 km² (Alcaldía de Ráquira, 2013)

Población proyectada al 2018: 13907 hab (DANE, 2008)

Densidad poblacional: 59,7 hab /km²

La densidad poblacional fue calculada con los datos de área y población presentados anteriormente, teniendo en cuenta que fueron los datos disponibles para el municipio de Ráquira

Tabla 7. *Área de las veredas en donde se concentran los hornos y población afectada directamente.*

Nombre de la Vereda	Área (km²)	Densidad de hornos (hornos/ km²)	% área municipal	Población directamente afectada (hab)	% población total
Gachaneca	13,69	0,1	6,3	817,11	5,88
Nombre de la Vereda	**Área (km²)**	**Densidad de hornos (hornos/ km²)**	**% área municipal**	**Población directamente afectada (hab)**	**% población total**
Candelaria Occidente	8,29	2,7	3,8	494,80	3,56
Candelaria Oriente	5,87	2,2	2,7	350,36	2,52
Carapachos	9,26	0,1	4,3	552,70	3,97

Chinguichanga	11,72	0,3	5,4	699,53	5,03
Ollerías	4,79	0,4	2,2	285,90	2,06
Pueblo Viejo	8,78	1,1	4,1	524,05	3,77
Resguardo Occidente	11,27	7,1	5,2	672,67	4,84
Resguardo Oriente	6,73	20,8	3,1	401,69	2,89
Roa	11,28	0,1	5,2	673,27	4,84
Torres	11,50	1,0	5,3	686,40	4,94

Fuente: Autora con base en datos del área del municipio por veredas (Alcaldía de Ráquira, 2008)

En Ráquira 5 hornos tienen algunas de las características necesarias para hacer medición directa, pero en general, no se cumplen los lineamientos establecidos en la resolución 760 de 2010 de MAVDT para fuentes fijas, el cumplimiento de los mismos dificultaría la obtención de permisos de emisiones atmosféricas. Es decir, que los hornos para alfarería en Ráquira son ilegales.

9. Análisis y discusión de resultados

La mayoría de hornos que están operando son de tiro invertido, es decir que los gases ascienden, se redistribuyen dentro del horno y finalmente salen por la chimenea. Se podrían hacer pruebas con hornos de otro tipo para mejorar la eficiencia, como por ejemplo el horno rotatorio axial vertical propuesto la revista Tecnura de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, que durante operación en continuo la eficiencia energética del sistema alcanzó el 60 %, demostró alcanzar las temperaturas requeridas en el proceso de alfarería; más aún permitió el uso de un combustible gaseoso, haciendo el proceso más limpio y eficiente que los sistemas tradicionales alimentados por carbón. (Forero, López, & Sierra, 2015).

Los artesanos de Ráquira prefieren el carbón mineral por los costos y el poder calorífico que posee, útil en la cocción de las piezas más grandes. Aunque lo siguen usando, las personas conocen el problema ambiental que genera, este hecho quedó registrado en la base de datos que se obtuvo. Aquellos que han hecho conversión a gas manifiestan que los costos son muy altos, sin embargo, reconocen que mejora el proceso porque genera menos emisiones y evita daños en la salud por dos motivos; disminuye la afectación en la calidad del aire y facilita la alimentación del combustible que con el carbón es manual, lo que representa riesgos por las altas temperaturas que se deben alcanzar para cocer las arcillas. Son pocas las personas que siguen usando la leña, hay conocimiento de que la deforestación degrada los ecosistemas del municipio.

Las fuentes que requieren mayor atención son las que operan con carbón, sin dejar de lado la deforestación que causan los que operan con leña, analizando la opción de que todos los hornos que están operando con leña o carbón hagan una conversión a otros combustibles que contribuyan a la optimización del proceso y sean viables en cuanto a disponibilidad y accesibilidad. Se ha demostrado que el gas natural es el combustible que menos contaminación genera, es decir menos emisiones de material particulado (Reyes, 2008), además, que el uso de combustibles gaseosos es más sencillo de controlar y más eficiente (Arango, Sierra, & Guerrero, 2012).

Por otro lado, la experiencia en campo demostró que los hornos a gas que están operando son utilizados para la cocción de piezas pequeñas, tipo alcancías o materas pequeñas, muchos artesanos manifiestan que el gas no ha funcionado para cocinar las artesanías más grandes, aunque esta afirmación debería ser comprobada por los técnicos que desarrollen el horno piloto en el marco del gran proyecto de optimización de los hornos en Ráquira. Aunque el estudio de Mincultura (Ministerio de Cultura, 2014) afirma que no hay garantías para que se pueda

suministrar gas propano, en campo se constató que la dificultad con este combustible está ligada al costo que tiene instalar la red industrial respecto a la cantidad de gas que se compraría.

Este mismo estudio dice que los productos vidriados se logran tras la ejecución de una segunda temperatura más elevada, normalmente a 1.050°C, que permite que el esmalte se funda sobre la superficie de la cerámica. Esto sugiere que al someter los componentes del esmalte a estas temperaturas se generan emisiones de compuestos que se pueden formar con los gases de la combustión y los componentes de los esmaltes, lo que puede estar afectando la salud de los artesanos. En México hay registro de que los alfareros de San Miguel Tenextatiloyan fabrican cazuelas greteadas (esmaltadas con base de plomo) (Noyola, 2017). Por lo que vale la pena estudiar más a fondo los productos que tienen acabado esmaltado en Ráquira y su influencia en la calidad del aire y la salud, aunque sean pocos, 4,56%.

La unidad de planeación minero-energética (UPME, 2012), ha caracterizado el carbón según su procedencia, el carbón de Lenguazaque presenta una humedad de 4,67 %, el de Tunja de 9,48 %, en cuanto al poder calorífico tienen 7,07 y 6,26 kcal/Kg respectivamente. El de Lenguazaque tiene mejores características, sin embargo, se observó que el 97.29% de las personas lo almacenan al aire libre, aumentando su humedad, por lo que pierde sus características originales y además estando a la intemperie contribuye a la generación de emisiones atmosféricas.

Respecto a la duración de las horneadas se podría empezar a trabajar en la revisión de los hornos que tardan menor tiempo en cocer las piezas relacionándolo con el tipo de combustible y la capacidad del equipo para determinar si se pueden replicar esas condiciones en otros hornos. Es conveniente reducir los tiempos de cocción, entendiendo que, a mayor duración de la operación, mayor consumo de combustible en el contexto de los hornos de Ráquira, y por tanto mayores cantidades de contaminantes emitidos a la atmósfera.

Se estimó que hay un gasto de 4.493 ton/ año, sin embargo existía una estimación en un estudio que mencionaba un consumo de 4.800 ton/año (Forero, López, & Sierra, 2015). Aunque en dato es similar, en dicho estudio no se especifica cómo se obtuvo, por lo que no se puede indagar sobre la precisión del mismo. En el presente documento se indica que fue calculado a partir de datos recopilados a nivel local.

En los cinco hornos que cuentan con algunas de las características necesarias en la chimenea para hacer medición directa de emisiones se puede hacer una segunda visita para definir si se hace la medición y cuadrar la tercera visita para el muestreo, esto con el fin de obtener información de las cargas contaminantes que permitan formular un requerimiento en el diseño de un horno en dónde se disminuyan las emisiones de PM_{10} medidas.

10. Conclusiones

Mediante un censo predio a predio se obtuvo un inventario de fuentes fijas de contaminación atmosférica, y la caracterización tecnológica de hornos utilizados en actividades alfareras del municipio de Ráquira. Se resalta la existencia de 6 hornos que utilizan leña obtenidas de los bosques aledaños y el funcionamiento de 240 hornos a carbón en una extensión del 233 km^2 con los consiguientes riesgos para la salud de las personas de habitan la zona.

La cantidad de hornos (357) y las coordenadas consolidadas de los predios en dónde estos operan es el mayor aporte para la modelación ambiental sobre la dispersión de contaminantes.

Los datos de consumo de leña y carbón son la base de los cálculos para que la corporación pueda estimar el costo ambiental de la deforestación de los bosques y las emisiones de material particulado. Las fotografías permitieron registrar las grandes humaredas que se presentan a diario

y serán cuantificadas en términos de cargas contaminantes con base en la duración de las horneadas que en promedio arrojó 18,66 horas, el consumo de combustibles cuyos promedios fueron 0,15 ton/mes de leña, 1,72 ton/ mes de carbón y 288 m³/mes, la calidad del combustible según su proveniencia (ver Figura 8) y la estacionalidad de la operación que se encuesta en la base de datos.

Ningún horno cuenta con permiso de emisiones y 5 de estos tienen características que se aproximan a la posibilidad de realizar medición directa, por lo que se podría revisar cuales de estos podrían legalizarse y cuales definitivamente no.

La metodología aplicada y la información levantada en campo se podría extrapolar a escenarios similares en donde se desee caracterizar tecnologías de producción alfarera artesanal en contextos rurales con uso de combustibles similares.

Se ordenó la información, mostrando los resultados más relevantes, que en términos generales demuestran que las tecnologías son tradicionales. En cuanto a calidad del aire, teniendo en cuenta que la mayor concentración de hornos está en las veredas resguardo oriente y occidente la Corporación podría evaluar la necesidad de hacer ajustes en el sistema de vigilancia de calidad del aire que está funcionando, es decir, adicionar o reubicar estaciones de monitoreo.

La alfarería es una actividad está perjudicando directamente 1919 pobladores del municipio y puede estar afectando a sectores cercanos que incluyen a una mayor cantidad de población, esto se debe comprobar con la modelación teniendo en cuenta variables meteorológicas como velocidad y dirección del viento, consumo de combustible, entre otros. Hay que tomar las medidas necesarias, independientemente de los costos monetarios que generen, buscar la forma de generar los recursos, ya que, de seguir con las mismas tecnologías el costo de la remediación ambiental aumenta y las consecuencias también las asume el sector salud.

11. Recomendaciones

Por el tema cultural, otra alternativa es seguir operando los hornos a carbón con eficiencia mejorada, encontrando la forma de mejorar los principios de la combustión dentro de los hornos, proporción de aire, proporción de combustible o uso de equipos auxiliares como sistemas de micronizado, entre otros. Corregir aspectos como el almacenamiento del combustible puede tener un gran impacto al conservar las propiedades originales del carbón mineral. Esto con ayuda de sistemas de control de emisiones que se ajusten al contexto de los artesanos en Ráquira, pero al mismo tiempo que contribuyan al cumplimiento de los niveles de emisión permitidos de material particulado con un buen programa de mantenimiento y asistencia técnica.

La CAR deberá incluir un gran componente para implementar las características que debe tener una chimenea para poder hacer medición directa. Consecuentemente, que se modifiquen o adicionen las estructuras necesarias aspirando a la legalización de la actividad con permisos de emisiones en caso de que el esquema de ordenamiento territorial lo permita. Se requiere cuantificar las emisiones para obtener un inventario de emisiones con el fin de saber con exactitud cómo está el municipio y poder reducir estas cargas.

Los artesanos demostraron interés en el desarrollo del proyecto, es necesario que se mantenga la comunicación entre ASOALFRA y la CAR para seguir trabajando coordinadamente, completando las siguientes fases de la intervención de manera exitosa sin tener que tomar medidas drásticas como solución al problema. Las artesanías que se producen en Ráquira son una referencia importante de la cultura colombiana, que con un poco de técnica pueden dar mejores resultados y procesos más limpios y benéficos para todas las partes interesadas.

Referencias

Acosta, W., & Sánchez, M. R. (2014). Eficiencia energética basada en la apropiación social de la ciencia y la tecnología. Caso de estudio: producción de cerámica y alfarería del municipio

de Ráquira. Ingenium Revista de la facultad de ingeniería, 15(29),. *Ingenium Revista de la facultad de ingeniería, 15*(29).

Alcaldía de Ráquira. (2008). *Departamento de planeación.* Obtenido de Gobernación de Boyacá: http://www.dapboyaca.gov.co/?page_id=282

Alcaldía de Ráquira. (2008). *Esquema de ordenamiento territorial.*

Alcaldía de Ráquira. (2013). *ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN EN SALUD CON EL MODELO D E LOS DETERMINANTES SOCIALES DE SALUD.* Centro de salud San Antonia de la pared.

Alcaldía mayor de Bogotá. (2009). *Elementos técnicos del plan decenal de descontaminación de Bogotá.* Bogotá D.C.: Secretaría distrital de ambiente.

Alcaldía municipal de Ráquira. (2017). *Diagnóstico municipal de Ráquira 2017.*

Arango, J., Sierra, F., & Guerrero, C. (2012). Construcción y optimización de un horno semicontinuo para el uso en alfarería de alta eficiencia y bajas emisiones. *VII congreso bolivariano de ingeniería mecánica*.

Artesanías de Colombia. (2008). *Proyecto de mejoramiento en la calidad y certificación de productos de artesanos en 13 comunidades, ubicadas en los departamentos de Atlántico, Antioquia, Boyacá, Caldas, Cauca, Chocó, Santander, Sucre y Valle del Cauca.* ICONTEC.

CAR. (2015). *Actualizacion del inventario de emisiones atmosfericas incluyendo (Hg) y COP, seguimiento y control a las fuentes fijas de emision.* Bogotá D.C.: Fulecol.

Castellanos, D. (2015). The Ordinary Envy of Aguabuena People: Revisiting Universalistic Ideas from Local Entanglements. *Anthropology and Humanism.*, 20-34.

Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios. (2002). *Primer diagnóstico nacional de salud ambiental y ocupacional.* México.

CONPES. (2005). *Lineamientos para la formulación de la política de prevención y control de la contaminación del aire.* Bogotá D.C.

DANE. (2005). *Censo general 2005*. Obtenido de Perfil Ráquira- Boyacá: http://www.dane.gov.co/files/censo2005/perfiles/boyaca/raquira.pdf

DANE. (2008). *Proyecciones de población*. Obtenido de Proyecciones municipales 2006- 2020: https://www.dane.gov.co/files/investigaciones/poblacion/proyepobla06_20/MProyecciones Municipalesedadsexo.pdf

Echevarría, J., Gómez, C., Aristizábal, M., & Vanegas, J. (2010). El mètodo analítico cómo método natural. *Nómadas, Critical Journal of Social and Juridical Sciences*, 327-353.

Enciso Urrego, L., Pacheco, D. C., Rivera, D. C., & Guerrero Useda, M. E. (2014). Análisis de factores de riesgo en trabajadores de ladrilleros de Ubaté. *IIEC, 3*(2).

Escallón Romero, J. C. (2009). *Centro de producción y capacitación artesanal en Ráquira.* Universidad Javeriana , Facultad de Arquitectura y Diseño , Bogotá .

Forero, C., López, G., & Sierra, F. (2015). Evaluación de la eficiencia energética de un horno rotatorio axial vertical para la producción de cerámica. Tecnura, 19(43), 93-105. *Tecnura, 19*(43), 93-105.

González, R., & López, R. (2012). Catálogo de las plantas vasculares de Ráquira (Boyacá), flora andina en un enclave seco de Colombia. *Colombia Forestal*, 55-103.

Hernandez, D. (2015). *ESTIMACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS Y LAS UNIDADES DE RESPUESTA HIDROLÓGICA DE LA CUENCA DEL RÍO RÁQUIRA DEPARTAMENTO DE BOYACÁ A TRAVÉS DEL PROGRAMA SWAT.* Obtenido de Repositorio Universidad Católica de Colombia: http://repository.ucatolica.edu.co/bitstream/10983/2352/1/Trabajo_Grado_Cuenca_Raquira.pdf

Hernandez, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2010). *Metodología de la Investigación.* México D.F.: McGraw-Hill.

IARC. (2013). *Air pollution and cancer.* Lyon: Cohen, A.; Samet, J.; Straif, K.

IDEAM. (2016). *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2011-2015.* Bogotá.

IDEAM. (2017). *Informe del Estado de la Calidad del Aire en Colombia 2016.* Bogotá D.C.

Larsen, B. (2004). *Cost of environmental damage: A Socio- Economic and Environmental Health Risk Assessment.* Bogotá D.C.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2005). *Desarrollo empresarial y tecnológico de la alfarería y la cerámica en el municipio de Ráquira.* Bogotá: Artesanías de Colombia.

Ministerio de Comercio, Industria y Turismo. (2005). *Desarrollo empresarial y tecnológico de la alfarería y la cerámica en el municipio de Ráquira.* Bogotá: Artesanías de Colombia.

Ministerio de Cultura. (2014). *Ráquira de la olla a la casa.* Bogotá D.C.: Viviana Gamboa Rodriguez.

Moncada Rasmussen, D. M. (2010). Análisis espacio-temporal del cambio en los bosques de roble (Quercus humboldtii Bonpl.) y su relación con la alfarería en Aguabuena, (Ráquirá–Boyacá). *Colombia Forestal, 13*(2), 275-298.

Noyola, L. (2017). El plomo en la alfarería poblana. *Elementos*, 11-20.

Núñez, C., Martínez, G., & Vargas, F. (2015). Evaluación de la eficiencia energética de un horno rotatorio axial vertical para la producción de cerámica. *Tecnura*, 93-105.

Olaguer, E., Stutz, J., Erickson, M. H., Hurlock, S. C., & Cheung, R. T. (2017). Real time measurement of transient event emissions of air toxics by tomographic remote sensing in tandem with mobile monitoring. *Atmospheric Environment, 150, 220-228, 150*, 220-228.

Quezada, N. (2010). *Metodología de la investigación.* Lima: Macro.

Reyes, L. (2008). *Uso del gas natural como combustible más limpio.* . Bogotá: Unifersidad de la Salle: Monografía especialización en gestión energética y ambiental.

Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. (2005). *Guía para la elaboración y usos de inventarios de emisiones.* México D.F.: Instituto nacional de ecología.

Unal, Y., Toros, H., Deniz, A., & Incecik, S. (2011). Influence of meteorological factors and emission sources on spatial and temporal variations of PM10 concentrations in istanbul metropolitan area . *Atmosferic Environment*, 5504-5513.

UPME. (2012). *Cadena del carbón.* Obtenido de Repositorio Unidad de Planeación Minero Energética: bdigital.upme.gov.co/handle/001/1238

Vedrenne, M., Borge, R., Lumbreras, J., Rodríguez, M., de la Paz, D., Pérez, J., . . . Quaassdorff, C. (2016). A comprehensive approach for the evaluation and comparison of emission inventories in Madrid. *Atmosferic environment*, 29-44.

Zhang, W., Lu, Z., Xu, Y., Wang, C., Gu, Y., Xu, H., & Streets, D. (2018). Black carbon emissions from biomass and coal in rural China. *Atmosferic environment*, 158-170.

Anexo 1. *Formatos para diligenciar encuestas a los artesanos que trabajan con hornos.*

ENCUESTA REALIZADA A LA COMUNIDAD ALFARERA DEL MUNICIPIO DE RÁQUIRA BOYACÁ