

COMPORTAMIENTOS LOGÍSTICOS EN LA DISTRIBUCIÓN DE ÚLTIMA MILLA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS EN VILLAVICENCIO, COLOMBIA

 WILSON ADARME JAIMES
MARTÍN DARÍO ARANGO SERNA
IVÁN DARÍO CÁRDENAS

RESUMEN

La logística de la ciudad es uno de los asuntos principales en logística debido que los centros urbanos tienden a crecer y consolidar las actividades económicas e industriales con aquellas sociales y humanas. La gran mayoría de los estudios se centran en el enfoque tradicional de transporte, que tiene como objetivo explicar las variables relacionadas con la oferta de transporte, en lugar de analizar la demanda real. Existe una falta de comprensión sobre el comportamiento de los clientes, lo que es explícito en estudios previos relacionados con la logística de la ciudad. Este trabajo tiene como objetivo ofrecer un análisis de las principales tendencias y el comportamiento de las compras en el hogar, específicamente en la compra de alimentos, mediante el uso de fuentes primarias de información y herramientas estadísticas. Los resultados obtenidos en un centro urbano de rápido crecimiento en Colombia, ofrecen un marco para comprender el comportamiento de las compras en los hogares, con base en tres variables principales: a) Los productos, b) Vehículos y c) La frecuencia de compra en relación con las instalaciones para la adquisición de alimentos (tiendas).

PALABRAS CLAVE: Logística de ciudad, Distribución urbana, Alimentos, distribución de última milla, compras para el hogar.

LOGISTICS BEHAVIOR IN THE LAST MILE DISTRIBUTION OF ALIMENTARY PRODUCTS IN VILLAVICENCIO, COLOMBIA

ABSTRACT

City logistics is a major issue as the urban centers tend to grow and consolidate economic and industrial activities with social and human traditional activities. The vast majority of the studies follow the traditional transport approach aiming to explain variables related to the transport supply instead of analyzing the actual demand. There exists a lack of understanding on the behavior of the customers and this concern is explicit in previous studies related

¹ Ingeniero industrial, PhD. en Ingeniería – Industria y Organizaciones. Profesor Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.

² Ingeniero Industrial, PhD. en Ingeniería Industrial, Profesor Titular Escuela de Ingeniería de la Organización. Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín.

³ Ingeniero industrial, MsC. en Ingeniería, Profesor Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá.



Autor de correspondencia Jaimes, W.A. (Wilson Adarme):
Carrera 45 N. 26-85 - Edificio Antonio Nariño, Oficina 115,
Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, Bogotá
(Colombia). Tel: (57 1) 316 50 00
Correo electrónico: wiadarme@unal.edu.co

Historia del artículo:

Artículo recibido: 10-X-2013 / Aprobado: 10-II-2014

Disponible online: 12 de mayo 2014

Discusión abierta hasta mayo de 2015

to city logistics. In this paper with the use of primary sources of information and statistical tools we aim to provide an analysis of the main trends and behavior of the household purchases specifically the food procurement. The results obtained in a rapidly growing urban center in Colombia provides a framework to understand the behavior of household purchases based in three main variables a) products, b) vehicles and c) purchase frequency related to the type of food procurement facility.

KEYWORDS: City Logistics; Urban Goods Distribution; Food; Last Mile Distribution; Household Purchases.

COMPORTAMENTO LOGÍSTICOS NA DISTRIBUIÇÃO DE ÚLTIMA MILHA DE PRODUTOS ALIMENTÍCIOS EM VILLAVICENCIO, COLÔMBIA

RESUMO

A logística da cidade é um dos assuntos principais em logística devido que os centros urbanos geralmente crescem e consolidam as atividades econômicas e industriais com as atividades sociais e humanas. A maioria dos estudos concentram-se no enfoque tradicional de transporte, que tem como objetivo explicar as variáveis relacionadas com a oferta de transporte, em vez de analisar a demanda real. Existe uma carência de compreensão sobre o comportamento dos clientes, o que é explícito nos estudos prévios relacionados com a logística da cidade. Este trabalho tem o objetivo de oferecer um análise das principais tendências e do comportamento das compras no lar, especificamente na compra de alimentos, mediante o uso das fontes primárias de informação e ferramentas de estadísticas. Os resultados obtidos num centro urbano de rápido crescimento em Colômbia oferecem um quadro para compreender o comportamento das compras nos lares, com base em três variáveis principais: a) os produtos, b) veículos e c) a frequência de compra em relação com as instalações para a aquisição de alimentos (lojas).

PALAVRAS-CHAVE: Logística de cidade; Distribuição urbana; Alimentos; Distribuição de última milha; Compras para o lar.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades logísticas que tienen lugar entre ciudades así como en su interior son de vital importancia para el desarrollo económico y social de las comunidades, garantizan la operación continua de las diferentes actividades económicas e industriales proporcionando fuentes de empleo y bienestar para los habitantes y garantizando el acceso a bienes y servicios necesarios para satisfacer sus necesidades.

A pesar de la importancia de la actividad logística, es preciso considerar las externalidades negativas que de ella se derivan (Russo y Comi, 2011), impactos que se manifiestan como congestión vehicular, reducción en la capacidad de las vías por operaciones de carga o descarga, impactos visuales, sonoros, ambientales e incremento del riesgo de accidentes por la presencia de medios de transporte pesados. Por ejemplo las

emisiones de óxido de nitrógeno en áreas urbanas se atribuyen en un 28 % en Londres, 50 % en Praga y 77 % en Tokio al transporte de carga, mientras los países experimentan un rápido crecimiento de la población urbana que se espera alcance a convertirse en el 85 % de la población mundial en 2020 (OECD, 2003).

Las actividades inherentes a procesos logísticos a nivel urbano contribuyen a que esta problemática obedezca a un contexto en donde se presentan conflictos por los intereses públicos, el uso de recursos escasos: el espacio público y otros como el aire, el ambiente sonoro y la seguridad (Danielis, Ritaris y Marcucci, 2010). Taniguchi (2001) define la logística urbana como «el proceso de optimizar totalmente las actividades privadas de transporte y logística en las áreas urbanas considerando el tránsito, la congestión y el consumo de energía dentro de la estructura de una economía de mercados».

Las consideraciones previas implican que la planeación logística urbana debe tratarse como un proceso agregado, no visto a nivel local, sino con un enfoque holístico considerando el desempeño total del sistema, esta tarea tradicionalmente ha recaído entre las responsabilidades de la administración pública por medio de políticas alrededor de la logística urbana en busca de promover e implementar estrategias sostenibles y coordinadas para el control y monitoreo de las externalidades causadas permitiendo a la vez el desarrollo de las actividades económicas que tienen lugar en la ciudad (Russo y Comi, 2011).

La complejidad y la relevancia que conllevan la planeación logística hacen que esta problemática sea de gran interés tanto para la comunidad científica como práctica, y que de forma paralela se hayan explorado diferentes aproximaciones desde diversos enfoques en busca de contribuir a la comprensión y solución de las externalidades ocasionadas por la distribución urbana de mercancías. Uno de estos enfoques es el conocido como el problema de la distribución de última milla.

El 28 % de los costos totales del transporte de un producto son atribuidos al tramo final de la red de suministro (Goodman, 2005). La atención al «problema de la última milla» propende por la mejor asignación de recursos de manera que se maximice el nivel de servicio y los costos sean mínimos en el segmento final del transporte (Balcik, Beamon y Smilowitz, 2008).

Aunque la situación de la última milla ha recibido importante atención en los últimos años, cada red experimenta diversas problemáticas asociadas a este tipo de distribución, en especial para productos alimenticios donde múltiples individuos acuden a centros de abasto, grandes y pequeñas superficies para obtener productos necesarios para su sustento generándose rutas de múltiples orígenes a múltiples destinos. De acuerdo a estimaciones de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (World Health Organization, 2012) en Colombia se consumen en promedio 1,24 kg de alimentos per cápita-día, **estas cifras para una población como Villavicencio** (ciudad objeto de estudio) con unos 400.000 habitantes, implica que a diario deben ser transportadas alrededor de 500 toneladas tan sólo de productos alimenticios entre los diferentes nodos de la red.

Este artículo propone una metodología para contribuir al entendimiento de los comportamientos logísticos a nivel micro en el abastecimiento de productos alimenticios, analizando los viajes de compra de las unidades familiares. La evaluación se soporta con un Análisis de Correspondencias Múltiples (ACM) (Le Roux y Rouanet, 2004), así mismo plantea establecer como se relacionan las características específicas de diferentes tipos de productos alimenticios con la operación de logística urbana, finalmente los resultados permiten identificar importantes tendencias que deben ser consideradas en la planeación del transporte de última milla.

2. REVISION DE LA LITERATURA

En el estado del arte se pueden evidenciar dos cuerpos de literatura relevantes para este trabajo; primero el análisis de metodologías utilizadas, tanto para la recolección como para el análisis de datos que permitan tomar decisiones respecto al transporte urbano de carga y, segundo, las necesidades de investigaciones futuras identificadas. A continuación se revisarán los principales aportes en estos dos aspectos. Un sinnúmero de alternativas existentes deben ser estudiadas y es necesario considerar que el entorno urbano particular causa que políticas exitosas, en ciertos contextos, sean fracasos en otros (Danielis, Ritaris y Marcucci, 2010).

2.1 Metodologías para la obtención y análisis de datos.

Buena parte de las metodologías aplicadas a la optimización del transporte de carga corresponden a aproximaciones metodológicas robustas provenientes del transporte de pasajeros, las características particulares del transporte de carga hacen que no sea posible adaptarlas totalmente (Holguin-Veras y Thorson, 2000), (Benjelloun y Crainic (2008). En consecuencia, diferentes autores coinciden en que existen amplias oportunidades de investigación en los aspectos metodológicos de la logística urbana ya que estos aún se encuentran en una etapa experimental (Crainic, Ricciardi y Storchi, 2009), (Ambrosini y Routhier, 2004). Otro elemento esencial es la necesidad de incluir la coordinación entre actores de la red (Adarme, Arango y Otero, 2011), así como las posibles estrategias que subyacen (Arango, Zapata y Adarme, 2011).

En un estudio de Ambrosini y Routhier (2004), se revisan metodologías implementadas para la recolección y análisis de información en diferentes ciudades alrededor del mundo, encontrando que el desarrollo metodológico está relacionado con las necesidades de logística urbana de los países. Por ejemplo, para naciones que cuentan con amplias infraestructuras y espacios, como Estados Unidos, Australia o Canadá, los estudios se enfocan en el análisis de los vehículos comerciales, mientras que en países con áreas urbanas altamente densas como los países europeos o Japón, los estudios consideran una mayor cantidad de elementos como las dinámicas logísticas de sus habitantes o incluso la recolección de desechos.

Para Holguín-Veras y Thorson (2000) adaptar los modelos de transporte de pasajeros al transporte de carga no es válido, considerando por ejemplo una población compleja como Nueva York, donde se observa que el transporte de pasajeros es unidimensional en términos de la demanda, ya que el pasajero es la unidad fundamental del modelo, sin embargo en el transporte de carga aparecen otras dimensiones (volumen, peso, viajes, valor de la mercancía), que deben ser considerados como medidas de la demanda. Otro aspecto que cobra relevancia según los autores es el nivel de decisión, mientras en el transporte de pasajeros, el usuario es el agente que toma las decisiones, en el transporte de carga diferentes compañías con diferentes objetivos e información disponible toman decisiones aumentando la complejidad del sistema y a la vez enfatizando en la importancia que tiene los aspectos del comportamiento de humano en las decisiones.

Con esta perspectiva Routhier, Patier y Aubert (1996) proponen una metodología en la que no se reconstruyan matrices origen/destino, sino que la información recolectada tenga como objetivos: a) Estimar los flujos de vehículos de acuerdo a la actividad comercial o industrial a la que están asociados, b) Conocer los esquemas organizacionales del transporte en el área urbana (contratados o propios) y c) Identificar condiciones de carga/descarga en los establecimientos. La recolección de información se lleva a cabo por medio de encuestas en establecimientos y a transportistas enfatizando en las actividades de carga/descarga. La información permite elaborar y evaluar

a un modelo del sistema por medio de simulación, las alternativas incluyen: a) Logísticas (plataformas, modos de transporte y operación y medios de transporte, empaque y manipulación), b) Legales (restricciones de tiempo y localización para las actividades logísticas) y c) Planeación urbana (infraestructura de transporte). Un enfoque similar se encuentra en Allen, Anderson y Jones (2000), esta vez con técnicas participativas a cambio de encuestas.

Otras aproximaciones al análisis plantean la inclusión de técnicas novedosas para el tratamiento de información como la simulación y la inclusión de modelado de decisiones discretas para caracterizar los procesos de decisión de diferentes agentes presentes en la operación logística (Taniguchi y Heijden, 2000), (Danielis, Ritaris y Marcucci, 2010), (Holguín-Veras, Silas, Polimeni y Cruz, 2007), (Holguín-Veras, Polimeni y Cruz, 2008).

En conclusión, las técnicas utilizadas para la investigación en problemas de logística urbana han migrado desde el enfoque tradicional influenciado por el transporte de pasajeros hacia un enfoque que aporte a la comprensión de los flujos de bienes y servicios, el transporte urbano y las políticas que proporcionan la sostenibilidad (Allen, Anderson y Jones, 2000). Este enfoque se centra en las dinámicas industriales y comerciales mientras enfatiza en los elementos relacionales entre los diferentes agentes y los procesos de toma de decisiones que son determinantes en el funcionamiento del sistema logístico.

2.2 Necesidades de investigación identificadas

Aunque son considerables las contribuciones académicas al estado del arte en el ámbito de la logística urbana, aun se evidencian brechas en el conocimiento actual, motivando a la realización de esta investigación. A nivel general las contribuciones propenden por considerar una cantidad más numerosa de variables que contribuyan a entender, modelar, analizar, evaluar y decidir los aspectos concernientes a la distribución urbana de mercancías. A continuación se contemplan las perspectivas propuestas desde los resultados de la investigación previa.

Se identifican tendencias que están en espera de ser estudiadas de una manera detallada, como es el caso del desarrollo de estructuras subterráneas para el transporte de mercancías (Ambrosini y Routhier, 2004). Los últimos avances tecnológicos y las dinámicas urbanas hacen que se deban considerar estas alternativas en el futuro. Otras tendencias de relevancia en la actualidad son las relacionadas a la evolución de sistemas logísticos, filosofías como el *lean logistics* así como el comercio electrónico, han producido modificaciones en el comportamiento de las redes (Ambrosini y Routhier, 2004). El uso de empaques y embalajes inteligentes, en armonía con el desarrollo de sofisticados sistemas de información y comunicación mantienen la expectativa de avances en logística.

Un enfoque apremiante y presente en diversos estudios está enfocado a las necesidades de coordinación entre los agentes involucrados en el proceso logístico. Al respecto surgen dos ámbitos de posibles escenarios en necesidad de coordinación, de un lado aparecen un escenario intra-ciudad en donde las interacciones a coordinar se efectúan entre los agentes urbanos participantes como generadores y demandantes de carga, transportistas y proveedores de servicios a la carga como centros de consolidación, bodegas de almacenamiento y prestadores de diferentes actividades como empaque, carga/descarga, agencias, entre otros.

Ambrosini y Routhier (2004) resaltan el trabajo realizado en Alemania por el programa «City Logistics» logrando que los agentes involucrados en el transporte de mercancías establezcan modos de cooperación de acuerdo a características de la mercancía como tipo, cantidad o localización. Los autores enfatizan en la importancia de identificar los diferentes agentes participantes así como los roles e interacciones presentes en el sistema, al respecto (Danielis, Ritaris, y Marcucci (2010), recomiendan la utilización de modelos de elección discreta como los utilizados por diferentes autores (Holguín-Veras, Silas, Polimeni y Cruz, 2007), (Marcucci y Danielis, 2008). Igualmente, estos autores, relacionan con la coordinación a nivel inter-ciudad, en el que ciudades que por su localización o por las actividades económicas que desarrollan guardan interacciones que deben ser coordinadas. Al respecto estudios resaltan la necesidad de armonización entre las políticas de logística urbana

entre diferentes ciudades, entre el orden nacional e incluso entre diferentes países; aunque la coordinación en este último hasta ahora parece ser inexistente (Ambrosini y Routhier, 2004); con el objetivo de reducir costos logísticos que pueden estar asociados a la descoordinación entre las políticas (Quak y Koster, 2007).

Otro enfoque presente en la literatura es el de considerar un espectro mayor de elementos y variables que a pesar de existir en los sistemas de logística urbana se han mantenido al margen en los diferentes estudios. Ambrosini y Routhier (2004) evidencian que es necesario considerar variables como las compras familiares o los viajes de recolección de desechos. De otro lado, hay una tendencia dirigida a los movimientos de mercancías que ingresan o salen de la ciudad restándole importancia de forma equivocada a los movimientos con orígenes y destinos al interior de la ciudad (Crainic, Ricciardi y Storchi, 2009).

Los sistemas de logística urbana se soportan principalmente en la consolidación, estas actividades tienen lugar en los Centros de Distribución (CD) urbanos en donde arriban transportes de tramo largo y descargan mercancías. Una vez ahí las mercancías son organizadas y consolidadas en vehículos de menor capacidad (Crainic, Ricciardi y Storchi, 2009). Sin embargo en la actualidad las iniciativas alrededor de los CD se consideran de forma general poco exitosas sobre todo en términos de su viabilidad financiera, con una fuerte tendencia a necesitar de subsidios financieros municipales (Ambrosini y Routhier, 2004). Al respecto Crainic, Ricciardi y Storchi (2009) contrastan las experiencias en Alemania y Suiza contra experiencias en Mónaco y Holanda del cual se evidencia la importancia del papel que juega el gobierno local y central en el éxito y sostenibilidad de los CD urbanos. Entre los casos exitosos se encuentran los CD ubicados en los aeropuertos cuyas connotaciones hacen que la operación, porque al existir un intercambio modal la consolidación en el CD es obligatoria (Ambrosini y Routhier, 2004).

Algunos estudios indican que la utilización de un CD está relacionada al tipo de mercancía (Ambrosini y Routhier, 2004), (Comune di Venezia, 2004) y a la estructura de la red de suministro en la que se circunscribe el CD. Estos dos últimos aspectos determinan los modos y medios utilizados en la operación logística

(Dufour y Patier, 1999). En consecuencia, las políticas que se adopten afectarán de una u otra manera cada red (Danielis, Ritaris y Marcucci, 2010). Es necesario comprender de manera detallada el funcionamiento de las redes de forma particular (Ambrosini y Routhier, 2004) para poder establecer de qué forma se verá afectada por las intervenciones propuestas.

Entre los hallazgos presentes en diferentes estudios se resalta la necesidad de indagar de manera más profunda sobre el comportamiento individual de los agentes involucrados (Regan y Garrido, 2000). Entre las propuestas en este aspecto está la utilización de métodos de recolección de información cualitativa incluyendo los grupos de discusión que pueden permitir mejores resultados. En especial entre estos comportamientos se debe contemplar los del abastecimiento realizado por unidades familiares que han sido escasamente considerado en los estudios de transporte de mercancías urbanas (Ambrosini y Routhier, 2004). Al respecto contribuciones como las herramientas de modelado propuestas por «Freturb» en Francia han hecho un esfuerzo por considerar los «viajes de compras» realizados por las familias inscritas al ciudad por medio de encuestas a hogares e individuos, como una aproximación para entender los comportamientos de estos viajes y así obtener insumos para la planeación de minoristas y *retailers* (Routhier, Segalou, y Durand, 2001).

3. METODOLOGIA

El enfoque metodológico que se siguió para el desarrollo de este trabajo se divide en cuatro fases: a) Planeación, b) Trabajo de campo, c) Consolidación de los datos, d) Análisis y resultados. Fases que fueron sistemáticamente ejecutadas en el contexto de la elaboración del plan de movilidad del ciudad de Villavicencio.

La fase de planeación comprendió las actividades de recopilación de información secundaria, reconocimiento del sistema logístico de la ciudad, estimación de la muestra, diseño y elaboración de los instrumentos de recolección de información primaria los cuales incluyen preguntas de selección múltiple con única respuesta que resumen la caracterización de aprovisionamiento de alimentos que se explica

esencialmente a través de variables a tener en cuenta para diferentes familias de productos: abarrotes, carnes-huevos, cereales, plátanos y tubérculos, hortalizas, verduras y granos, frutas y leche y derivados. Los rasgos observados son: lugar donde se realizó la compra del producto, frecuencia con la que se realiza la compra y el medio de transporte que se utiliza para la adquisición de cada producto. Los valores para las variables del instrumento fueron establecidos de acuerdo a la revisión de información secundaria: se toman los principales centros de compra de la ciudad, los medios de transporte (a pie, bicicleta, bus, taxi, moto, carro particular, camioneta) y la frecuencia de compra (diario, semanal quincenal, mensual).

En total, se estimó una muestra de 705 encuestas mediante un muestreo aleatorio simple, la población objetivo sobre la cual se obtuvo esta estimación fue de 101.717 hogares de la ciudad de interés según el Contexto Sectorial Villavicencio-Meta, realizado por el Centro de estudios de la construcción y el desarrollo urbano y regional (2013). El error aproximado es del 3 %, por medio de la estimación de la población estimada en la muestra.

$$n = \frac{N \cdot p \cdot q \cdot z_{\alpha}^2}{i^2 (N-1) + z_{\alpha}^2 p \cdot (1-p)} \text{ Donde;}$$

n : Tamaño de la muestra

N : Tamaño de la población objetivo

z : Valor del cuartil según la distribución normal con error α .

p : Prevalencia del parámetro a estimar

i : Error que se prevé cometer.

Una vez revisado y evaluado el instrumento mediante pruebas piloto se ejecutó la etapa de trabajo de campo en el que se obtuvieron datos mediante la aplicación de encuestas a) En hogares y b) En puntos estratégicos de la ciudad en donde se abordaron sus habitantes para recoger la información objetivo.

Para la fase de consolidación de la información por medio de una hoja electrónica se tabularon los datos y por medio de la utilización del *software* estadístico SPAD, programa de análisis de datos, minería de datos y minería de textos; se realizó el análisis de los datos, permitiendo una aproximación descriptiva y exploratoria.

El análisis propuesto corresponde a la aplicación del método de análisis de correspondencias múltiples por medio del cual es posible establecer relaciones entre variables que se encuentren en una tabla de contingencia múltiple. Este método tiene la capacidad de analizar relaciones entre las filas y columnas de dicha tabla mediante la reducción de la dimensionalidad de la matriz donde se tiene la información mediante la distancia Chi-cuadrado. En este estudio el análisis cumple la función de facilitar la construcción de diferentes comportamientos de los individuos al comparar todas las características observadas mediante las modalidades que estas presentan y concluir sobre las relaciones entre las variables de estudio y a su vez entre las modalidades que presentan (Greenacre, 2008). El desarrollo del método propuesto incluyó la elaboración de un plano en el que se proyectan las modalidades de las variables logrando visualizar las relaciones de manera gráfica en la matriz obtenida con dimensión 705 x 32.

Con el fin de establecer las relaciones entre el lugar de compra, los medios de transporte utilizados y la frecuencia con las que se realizan los viajes de compra de las unidades familiares se desarrollaron planos cartesianos conformados por las variables relacionadas en la **Tabla 1** que permiten identificar los comportamientos individuales de compras de productos alimenticios y tendencias que sirven de insumo en la planeación del transporte de última milla.

4. ESTUDIO DE CASO

La ciudad de Villavicencio tiene alrededor de 400.000 habitantes según las fuentes de información disponibles, sin embargo se considera que esta cifra puede superar los 600.000 debido a las dinámicas económicas y sociales que se presentan en la ciudad, atendiendo que es el principal acceso a los Llanos Orientales desde el centro del país (**Figura 1**). Esta situación geográfica tiene importantes consecuencias desde el punto de vista logístico, de un lado a la ciudad ingresan diversos productos industriales provenientes del centro del país para abastecer a toda la región de los Llanos Orientales. Por otra parte en esta región se encuentra alrededor del 70 % de la producción de petróleo del país que ante la insuficiente capacidad de la infraestructura de ductos debe utilizar el modo

Tabla 1. Especificación de variables relacionadas por cada plano cartesiano obtenido

	Primer Variable Relacionada	Segunda Variable Relacionada
Primer Plano Factorial	Lugar de compra	Medio de transporte utilizado
Segundo Plano Factorial	Lugar de compra	Frecuencia de compra

Figura 1. Localización del ciudad de Villavicencio



carretero para movilizar el petróleo desde los yacimientos hasta las refinerías y puertos de exportación.

Esta situación hace que la ciudad atienda actividades logísticas no sólo originadas en sus dinámicas internas sino también como soporte de las actividades económicas del oriente del país. En este último aspecto se han realizado diversos estudios que han recopilado información de los productos que se movilizan en las carreteras regionales y que conectan a Villavicencio con Bogotá y con los yacimientos petroleros.

5. RESULTADOS

El estudio permitió identificar ocho centros principales (**Figura 2**) de distribución de alimentos en los cuales se concentran el 75 % de las compras de alimentos del ciudad, entre estos centros se encuentra Llanoabastos, centro de distribución construido en las afueras de la ciudad para el acopio de productos agrí-

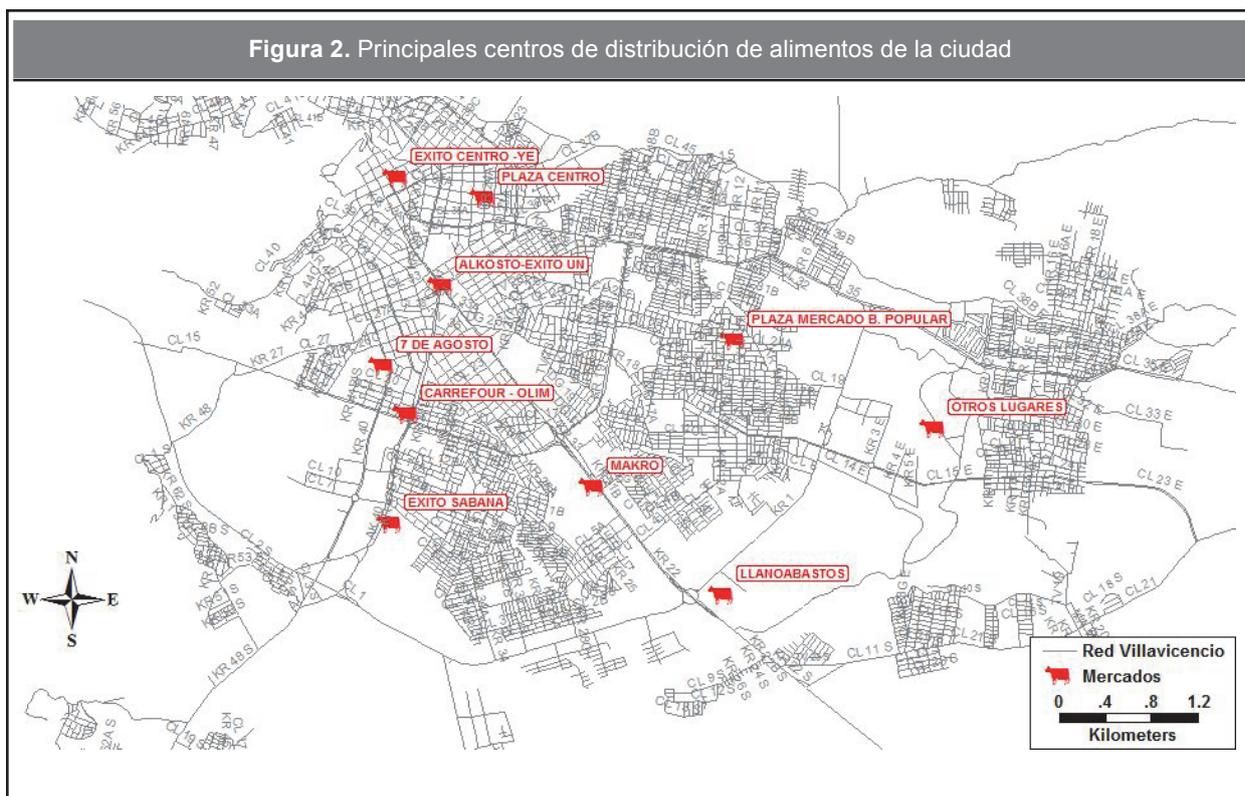


Tabla 2. Descripción de las relaciones brindadas por los planos factoriales obtenidos

Relaciones Establecidas	
Primer Plano Factorial	Distribución del medio de transporte según el lugar de compra.
Segundo Plano Factorial	Distribución de la frecuencia de compra de acuerdo al lugar de distribución.

colas, el cual tiene un participación del 15 % en todos los productos seleccionados exceptuando lácteos.

El análisis de los instrumentos permitió evidenciar la vocación que posee cada uno de los centros de distribución identificados en la ciudad. Los productos alimenticios seleccionados se compararon con los lugares en que se compraban generando los siguientes resultados. Las grandes superficies, mercados centralizados de extenso tamaño evidenciaron que su oferta de abarrotes se constituye en su principal vocación, las plazas de mercado, mercados descentralizados y aglomerados de carácter individual, poseen una vocación enfocada a la comercialización de verduras, cereales y similares, mientras que las frutas se encuentran entre este tipo de mercado y las *tiendas*; establecimientos de comercialización individuales y aislados cuya vocación

es la provisión de lácteos y huevos tal como se observa en la **Figura 3**.

Una vez realizado este análisis se elaboraron dos planos factoriales con las salidas obtenidas, tomando los distintos puntos (individuos) de acuerdo a las respuestas dadas y describiendo el comportamiento dentro del aprovisionamiento de alimentos como se observa en la **Tabla 2**.

Por medio del análisis de correspondencias simples se evaluaron las contribuciones a cada uno de estos ejes, de cada artículo de interés: abarrotes (1), carnes y huevos (2), cereales, plátanos y tubérculos (3), hortalizas, verduras y granos (4), frutas (5), leches y derivados (6); con respecto al lugar de compra y el medio de transporte utilizado con la intención de de-

Figura 3. Vocación de los principales centros de distribución

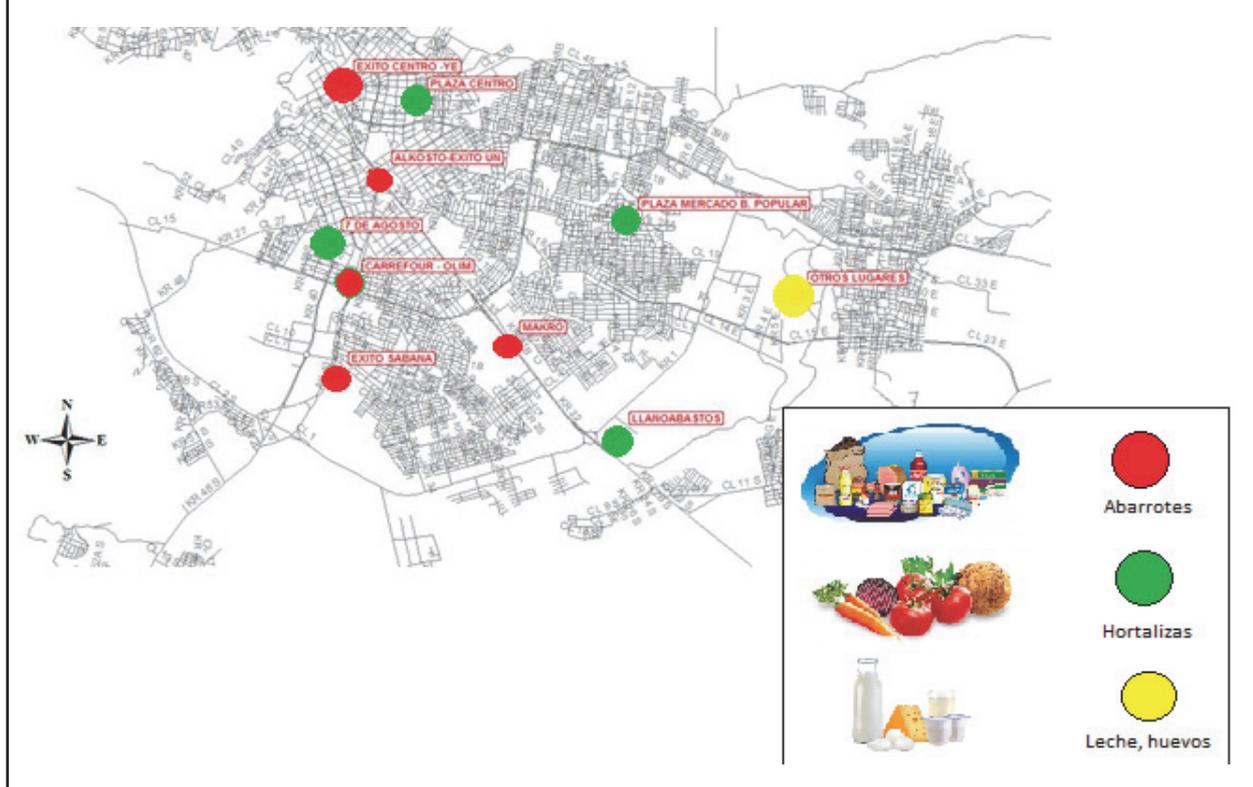


Tabla 3. Contribuciones de los productos sobre los cuatro primeros ejes para el lugar de compra y el medio de transporte utilizado

	Lugar				Transporte			
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
1	6,4	3,8	1,7	3,9	9,0	9,7	13,2	10,9
2	6,1	5,4	3,7	3,9	10,1	10,5	13,5	11,5
3	7,5	7,6	4,1	5,1	10,3	11,3	13,6	13,0
4	7,1	7,4	3,4	5,9	10,1	11,1	12,9	13,0
5	6,6	6,9	3,8	5,0	9,8	10,3	13,2	12,5
6	7,3	6,1	3,6	4,1	9,8	10,0	13,2	11,1

terminar el plano sobre el cual se hará la interpretación de las proyecciones.

Los resultados del análisis proporcionaron información sobre los medios de transporte utilizados para los desplazamientos a los lugares de compra de productos de alimenticios como se evidencia en la **Tabla 3**. Se encontró que medios como la moto,

bicicletas y los viajes caminando están relacionados con lugares de compras en el centro de la ciudad, explicado principalmente por la congestión y las restricciones de parqueo en estas zonas.

El transporte privado aparece relacionado a las compras realizadas en *grande superficies* con bahías de parqueo extensas y ubicadas en la periferia de la

Tabla 4. Contribuciones de los productos sobre los cuatro primeros ejes para el lugar de compra y la frecuencia de compra.

	Lugar				Frecuencia			
	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4	Eje 1	Eje 2	Eje 3	Eje 4
1	7,2	6,3	6,3	12,0	8,1	7,2	6,9	3,0
2	8,9	7,1	8,7	13,3	8,4	9,1	7,6	3,8
3	8,3	8,2	9,1	14,6	8,4	10,1	8,8	3,7
4	8,4	8,1	9,1	13,6	8,1	10,2	9,3	3,8
5	8,6	7,7	8,6	13,1	8,5	10,1	8,0	3,9
6	8,5	7,5	8,9	12,0	8,7	8,4	8,7	3,2

Tabla 5. Resultados obtenidos

Establecimiento	Tipo de alimentos	Medio de transporte	Frecuencia
Plazas de mercado	Frutas y verduras	A pie, moto, taxi	Quincenal
Grandes superficies	Abarrotes	Carro particular	Mensual
Tiendas	Lácteos y derivados	Bus, a pie	Semanal, diaria

ciudad. Además de las capacidades de parqueo la generación de viajes en transporte privado a estas superficies está relacionada también con las capacidades adquisitivas de los demandantes. Finalmente los taxis públicos, se asocian con plazas de mercado y centrales de abastos en las que a pesar de tener accesos descongestionados, existen limitaciones de parqueo y principalmente no son atendidas por compradores con alta capacidad de adquisición. Para las tiendas el principal medio corresponde a buses públicos y viajes caminando.

El análisis final se realizó considerando variables relacionadas con la frecuencia de compra de los productos, como se puede observar en la **Tabla 4**. A manera de resultados se encuentra principalmente que los viajes con mayores frecuencia (semanal, diaria) están relacionados con compras en tiendas y por ende a medios como el bus y el desplazamiento a pie. Las compras asociadas a plazas de mercado e hipermercados ubicados en el centro presentan frecuencias quincenales que pueden estar asociadas al tipo de vehículo utilizado para el desplazamiento (moto, a pie). Las grandes superficies se asocian a compras con frecuencia mensual explicadas no sólo por los

vehículos utilizados sino también por las posibilidades de ahorros en las compras al por mayor.

En la **Tabla 5** se compilan los principales resultados asociados a los tres tipos de establecimientos identificados en el sistema de suministro de alimentos junto con los principales comportamientos logísticos relacionados con los mismos.

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó una investigación de tipo cuantitativa-cualitativa, buscando encontrar las principales tendencias de las compras de unidades familiares en el abastecimiento de alimentos. Los resultados de la investigación identifican tendencias relacionadas al lugar de compra con respecto del tipo de productos que se compran, el vehículo utilizado para efectuar la compra y su frecuencia.

Los resultados obtenidos son un importante insumo para la toma de decisiones de políticas públicas alrededor de la logística urbana, en el nivel estratégico para proyectar instalaciones como plataformas logísticas y centros de consolidación urbana y tácticas/ope-

rativas como restricciones vehiculares y de parqueo y mecanismos de coordinación. También se busca contribuir al estado del conocimiento proporcionando análisis sobre el comportamiento individual de los consumidores que ha sido ampliamente desatendido por estudios previos.

La metodología de análisis de correspondencias múltiples utilizada para este estudio debe ser evaluado en otros contextos para verificar su precisión y utilidad, considerando centros urbanos de mayor y menor escala. Otra posible línea de investigación se debe concentrar en proporcionar mejores herramientas para el análisis de la información como las que se enfocan en los comportamientos individuales de los actores y han sido utilizados en otros estudios (comunidades de agentes y modelos de selección discreta, entre otras).

También es necesario considerar un mayor espectro de variables logísticas a evaluar como el monto de las compras, el volumen y peso, las ventanas de tiempo en las que se hacen estas compras y los comportamientos estacionales. Así mismo estos análisis deben ser implementados para la adquisición de otro tipo de productos y por otro tipo de compradores; diversos estudios resaltan la relevancia de la red de suministro del sector de construcción en el impacto de la logística urbana.

Es necesario construir modelos de decisión que reciban estos resultados como insumo y proporcionen soluciones logísticas en horizontes estratégicos y tácticos, no sólo para las decisiones públicas sino también para proporcionar mecanismos de coordinación entre los diferentes agentes privados involucrados en las redes de suministro. En este sentido la literatura propone explorar alternativas de cooperación y coalición como ofertas conjuntas, sitios de parqueo compartidos y otras similares.

7. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue realizada bajo la formulación del Plan Maestro de Movilidad de Villavicencio, financiado por la Alcaldía de Villavicencio. Los autores desean agradecer a los habitantes, comerciantes y transportistas de la ciudad por su gentil colaboración.

REFERENCIAS

- Adarme, W.; Arango, M. y Otero, M.A. (2011). Coordinación de abastecimiento con información compartida, inventario gestionado por el vendedor, en Pymes agroalimentarias Colombianas. *Revista DYNA*. Vol. 78(167), junio, pp. 203-212.
- Arango, M.; Zapata, J. y Adarme, W. (2011). Aplicación del modelo de inventario manejado por el vendedor en una empresa del sector alimentario colombiano. *Revista EIA*. 8(15), junio, pp. 21-32.
- Allen, J.; Anderson, S.; Browne, M. y Jones, P. A. (2000). Framework for Considering Policies to Encourage Sustainable Urban Freight Traffic and Goods/Service Flows. *University of westminster*. [En línea] [Consultado el 1 de octubre de 2013]. Disponible en: < <http://home.wmin.ac.uk/transport/projects/u-d-summ.htm>>
- Ambrosini, C. y Routhier, J.-L. (2004). Objectives, Methods and Result Surveys Carried out in the Field of Urban Freight Transport: An International Comparison. *Transport Reviews*, 24(1), pp. 57-77.
- Balcik, B.; Beamon, B. M. y Smilowitz, K. (2008). Last Mile Distribution in Humanitarian Relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 12(2), pp. 51-63.
- Benjelloun, A. y Crainic, T. G. (2008). Trends, Challenges and Perspectives in City Logistics. *Transportation and Land Use Interaction, Proceedings TRANSLU'08*, pp. 269-284.
- Centro de Estudios de la Construcción y el Desarrollo Urbano Regional CENAC. Contexto sectorial Villavicencio – Meta. *Boletín Estadístico* [En Línea] 2013, [Consultado el 9 de julio de 2013]. Disponible en: <www.cenac.org.co/apc-aa-files/bfa6177b81c83455250e861305d7a28f/contexto-sectorial-villavicencio-meta_1.pdf>
- Comune di Venezia. (2004). Progetto logistics city di Mestre, Rapporto finale. [En Línea] 2004, [Consultado el 10 de julio de 2013]. Disponible en: < <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCgQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.comune.venezia.it%2Fflex%2Fcm%2Fpages%2FServeAttachment.php%2FL%2FIT%2FD%2FD.c261386210f3c69516e8%2FP%2FBLOB%253AID%253D16947&ei=DNiKUtrKNbLe4AP424GwDg&usq=AFQjCNEWB5WwgE7v4FpqRLWnLpCmXXdzUA&bvm=bv.53371865,d.dmg>>
- Crainic, T. G.; Ricciardi, N. y Storchi, G. (2009). Models for Evaluating and Planning City Logistics Systems. *Cirrelt* [En Línea] 2009, [Consultado el 15 de mayo

- de 2013]. Disponible en: < <https://www.cirrelt.ca/DocumentsTravail/CIRRELT-2009-11.pdf>>
- Danielis, R.; Ritaris, L. y Marcucci, E. (2010). Urban Freight Policies and Distribution Channels. *European Transport*(46), pp. 114-146.
- Dufour, J. y Patier, D. (1999). Introduction to the Discussion Based on the Experience of the French Experimental and Research Programme. En E. OECD, *Freight transport and the city, Round Table 109*, pp.29-100. Paris.
- Goodman, R. (2005). Whatever You Call It, Just Don't Think of Last-Mile Logistics, Last. *Global Logistics & Supply Chain Strategies*, pp. 1-6.
- Greenacre, M. *La practica del Análisis de Correspondencias. Bilbao (España):* Fundación BBVA. (2008).
- Holguin-Veras, J. y Thorson, E. (2000). An Investigation of the Relationships Between the Trip Length Distributions in Commodity-Based and Trip-Based Freight Demand Modeling. *Transportation Research Record*, pp. 37-48.
- Holguín-Veras, J., S. M., Polimeni, J. y Cruz, B. (2008). An Investigation on the Effectiveness of Joint Receiver-Carrier Policies to Increase Truck Traffic in the Off-peak Hours. *Network Spatial Economics*, 8(4), pp. 327-354.
- Holguín-Veras, J., Silas, M., Polimeni, J. y Cruz, B. (2007). An Investigation on the Effectiveness of Joint Receiver-Carrier Policies to Increase Truck Traffic in the Off-peak Hours. Part I: The Behavior of Receivers. *Network Spatial Economics*, 7(3), pp. 277-295.
- Le Roux, B. y Rouanet, H.. *Geometric Data Analysis, From Correspondence Analysis to Structured Data Analysis*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. (2004).
- Marcucci, E. y Danielis, R. (2008). "The potential demand for a urban freight consolidation centre". *Transportation*, 35, 269-284.
- OECD. Delivering the Goods: 21st Century Challenges to Urban Goods Transport. [En Línea] 2003, [Consultado el 3 de Julio de 2013]. Disponible en: <<http://www.internationaltransportforum.org/pub/pdf/03DeliveringGoods.pdf>>
- Quak, H. y Koster, M. (2007). Exploring Retailers' Sensitivity to Local Sustainability Policies. *Journal of Operations Management*, 25, 1103-1122.
- Regan, A. C. y Garrido, R. A. (2000). Modeling Freight Demand and Shipper Behaviour: State of the Art, Future Directions. *9th International Association for Travel Behaviour Research Conference*. Gold Coast, Queensland, Australia.
- Routhier, J. L.; Segalou, E. y Durand, S. Mesurer l'Impact du Transport de Marchandises en Ville. *Programme National Marchandises en Ville* [En Línea] 2001, [Consultado el 3 de Julio de 2013]. Disponible en: < <http://tmv.let.fr/documents/rapports/plaquette2.pdf>>
- Routhier, J.-L., Patier, D. y Aubert, P.-L. An attempt at modelisation of good transport in urban area. *COST 321 Meeting, Group B* [En Línea] 1996, [Consultado el 10 de Agosto de 2013]. Disponible en: < <http://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&cad=rja&ved=0CCUQFjAA&url=http%3A%2F%2Fwww.docapolis.com%2Fweb%2Fdocument%2Fdownload%2Fid%2F1963&ei=Et9KUtTZGMri4AOsioD4Dw&usq=AFQjCNE3qQApWXqVpCQLFGT8toVnYHbjZw&bvm=bv.53371865,d.dmg>>
- Russo, F. y Comi, A. (2011). Measures for Sustainable Freight Transportation at Urban Scale: Expected Goals and Tested Results in Europe. *Journal of Urban Planning and Development*, 137(2), pp. 142-152.
- Taniguchi, E. (2001). City Logistics. *Infrastructure Planning Review*, pp. 1-16.
- Taniguchi, E. y Heijden, R. E. (2000). An Evaluation Methodology for City Logistics. *Transport Reviews*, 20(1), pp. 65-90.
- World Health Organization. (2012). *Global Environment Monitoring System - Food Contamination Monitoring and Assessment Programme (GEMS/Food)*. Recuperado el 27 de 03 de 2013, Disponible en: <<http://www.who.int/foodsafety/chem/gems/en/index1.html>>

**PARA CITAR ESTE ARTÍCULO /
TO REFERENCE THIS ARTICLE /
PARA CITAR ESTE ARTIGO /**

Adarme-Jaimes, W.; Arango-Serna, M.D.; Cárdenas, I. D. (2014) Comportamientos logísticos en la distribución de última milla de productos alimenticios en Villavicencio, Colombia. *Revista EIA*, 11(21) enero-junio, pp. 145-156. [Online]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.14508/reia.2014.11.21.145-156>

EVALUACIÓN DEL RIESGO EN SISTEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE EN EL MARCO DE UN PLAN DE SEGURIDAD DEL AGUA

 CLAUDIA PATRICIA AMÉZQUITA MARROQUÍN¹
ANDREA PÉREZ VIDAL²
PATRICIA TORRES LOZADA³

RESUMEN

La evaluación del riesgo es una etapa clave de un Plan de Seguridad del Agua (PSA) y se logra mediante la identificación de peligros o eventos peligrosos y la valoración del riesgo. Este estudio evaluó los riesgos en el Sistema de Distribución de Agua potable (SDA) de la ciudad de Cali (Colombia) abastecido por el río Cauca, identificando los eventos peligrosos y posteriormente realizando la estimación del riesgo usando una matriz semicuantitativa adaptada. La estimación del riesgo se efectuó inicialmente sin considerar las medidas de control existentes del SDA y luego se reestimó considerando el nivel de eficacia de las mismas. Los resultados mostraron los eventos con mayor nivel de riesgo asociados al deterioro de la integridad física e hidráulica del SDA (daños en tuberías, fluctuaciones de presión, ausencia de información sistematizada sobre el SDA, fallas humanas, falta de capacitación, supervisión, conciencia del concepto aseguramiento del agua, corrosión interna y externa de elementos del SDA). La evaluación del riesgo es un instrumento de gestión para empresas prestadoras del servicio que permite priorizar recursos humanos y financieros hacia el mejoramiento de las medidas de control como estrategia para reducir los riesgos y asegurar la calidad del agua potable en el SDA.

PALABRAS CLAVE: evaluación del riesgo; identificación de peligros; matriz semicuantitativa de riesgo; plan de seguridad del agua (PSA); sistema de distribución de agua potable (SDA).

- 1 Ingeniera sanitaria. MsC. en Ingeniería, énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle. Asistente de investigación Grupo de Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental, Universidad del Valle. Cali, Colombia.
- 2 Ingeniera Sanitaria. Ph.D. en Ingeniería, **Énfasis Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Universidad del Valle. Profesora Titular** Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Boyacá, Colombia.
- 3 Ingeniera Sanitaria, Universidad del Valle. PhD. en Ingeniería Civil, énfasis Hidráulica y Saneamiento, Universidad de São Paulo, Brasil. Profesora Titular, Universidad del Valle. Grupo de Investigación Estudio y Control de la Contaminación Ambiental, Universidad del Valle. Cali, Colombia.



Autor de correspondencia Giraldo-Tobón, E.: Escuela de Ingeniería de Antioquia —EIA— km 2+200 variante Correo electrónico: claudia.patricia.amezquita@gmail.com

Historia del artículo:

Artículo recibido: 1-VIII-2013 / Aprobado: 17-X-2014

Disponibile online: 12 de mayo 2014

Discusión abierta hasta mayo de 2015

RISK ASSESSMENT IN WATER DISTRIBUTION SYSTEMS FRAMED IN A WATER SAFETY PLAN

ABSTRACT

The risk assessment is a key stage in a Water Safety Plan (WSP) and it is achieved by the identification of hazards or hazardous events and the risk estimation. This study evaluated the health risks in the Drinking Water Distribution System (DWDS) of the city of Cali (Colombia) which is supplied by the Cauca River; the hazardous events were identified and subsequently the risk estimation was made using a semi-quantitative risk matrix, previously adapted. The risk estimation was made initially without considering the existing control measures in the DWDS and then, the risks were re-estimated considering the level of effectiveness of them. The results showed the events with the highest level of risk associated with the loss of physical and hydraulic integrity of the DWDS (damage to water pipelines, pressure fluctuations, lack of systematic information on the DWDS, human failures, and lack of training, supervision and awareness about the concept of safety drinking water, internal and external corrosion in the elements of the DWDS). The risk assessment is a management tool for water providers which allow prioritizing the human and financial resources toward improving the control measures as a strategy to reduce health risks and ensure the quality of drinking water in the DWDS.

KEYWORDS: Risk Assessment; Hazard Identification; Semi-Quantitative Risk Matrix; Water Safety Plan (WSP); Drinking Water Distribution Systems (DWDS).

AVALIAÇÃO DO RISCO EM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL NO MARCO DUM PLANO DE SEGURIDADE DO ÁGUA.

RESUMO

A avaliação do risco é uma etapa chave dum Plano de Seguridade do Água (PSA) e consegue-se mediante a identificação de perigos ou eventos perigosos e a valoração do risco. Este estudo avaliou os riscos no Sistema de Distribuição de Água potável (SDA) da cidade de Cali (Colômbia) abastecido por o rio Cauca, identificando os eventos perigosos e posteriormente realizando uma estimação do risco usando uma matriz semiquantitativa adaptada. A estimação do risco efetuou-se sem considerar as medidas de controle existentes do SDA e logo reestimou-se o nível de eficácia dessas. Os resultados mostraram os eventos com maior nível de risco associados à deterioração da integridade física e hidráulica do SDA (danos em tubulação, flutuações de pressão, ausência de informação sistematizada sobre o DAS, falhas humanas, carência de capacitação, supervisão, consciência do conceito asseguramento do água, corozão interna e externa de elementos do SDA). A avaliação do risco é um instrumento de gestão para empresas prestador de serviços que permite priorizar recursos humanos e financeiros para o melhoramento da medidas de controle como estratégia para reduzir os riscos e garantir a qualidade do água potável no SDA.

PALAVRAS-CHAVE: Avaliação do risco; Identificação de perigos; Matriz semiquantitativa; Plano de seguridade do água (PSA); Sistema de distribuição de água potável (SDA).

1. INTRODUCCIÓN

Las plantas de tratamiento de agua potable (PTAP) pueden proveer agua segura para el consumo humano, pero su calidad se puede alterar durante el paso por el Sistema de Distribución de Agua (SDA) antes de llegar al consumidor; si el abastecimiento de agua es restringido, la posibilidad de deterioro de la calidad física, química y principalmente microbiológica a nivel intradomiciliar se incrementa (Rojas, 2002; Ainsworth, 2004; Graham y Van Derslice, 2007; OMS, 2007), debiéndose proteger la integridad física, hidráulica y de calidad del agua del SDA para garantizar el aseguramiento del suministro del agua potable (National Research Council, 2006).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda la implementación de los Planes de Seguridad del Agua (PSA) como la forma más eficaz de garantizar la integridad del agua en cada uno de los componentes de un sistema de abastecimiento de agua potable (SAAP) (cuenca, procesos de tratamiento, sistema de distribución y usuario final), siendo la evaluación del riesgo una de las etapas claves durante el desarrollo de los PSA. La evaluación del riesgo comprende las etapas de identificación de peligros y la valoración del riesgo; la identificación de peligros es el primer paso del enfoque general de evaluación del riesgo adoptado por diferentes comités de expertos, agencias regulatorias e instituciones de salud entre otros para gestionar medidas de control eficientes (NAP, 2008; Tuhovcak y Rucka, 2009; WHO, 2011).

La evaluación del riesgo, además de señalar los posibles peligros y eventos peligrosos (eventos que introducen peligros o impiden su eliminación en el SAAP) y valorar o determinar el nivel de riesgo (probabilidad de ocurrencia de un evento peligroso), permite identificar las medidas pertinentes para controlar los riesgos señalados y sirve para confirmar si se cumplen las normas y metas establecidas por la empresa (Bartram, *et al.*, 2009; WHO, 2011).

Una de las herramientas para estimar el riesgo que se ha tenido en cuenta en casi todas las experiencias reportadas de los PSA para analizar los diversos componentes de un SAAP es la matriz semicuantitativa de riesgo, la cual usa una escala de puntuación para medir los niveles de probabilidad de ocurrencia

e impacto de sus consecuencias del peligro o evento peligroso analizado (Rosén, *et al.*, 2007 y Lindhe, 2008). Estas matrices son sencillas y el resultado es de fácil comprensión; además de la evaluación de riesgos, estas matrices permiten priorizar los eventos peligrosos con mayores niveles de riesgo, ayudando a optimizar las medidas de control existentes o la implementación de nuevas medidas que reduzcan los niveles de riesgo (Vieira y Morais, 2005; Rosén, *et al.*, 2007; Lindhe, 2008).

Este estudio presenta los resultados obtenidos en la evaluación del riesgo en el SDA de la ciudad de Cali-Colombia, específicamente en la red baja abastecida por el río Cauca, usando como herramienta la matriz semicuantitativa de riesgo, la cual fue previamente adaptada para su aplicación en los SDA.

2. METODOLOGIA

El SAAP de la ciudad de Cali abastece aproximadamente a 2,5 millones de habitantes mediante cuatro fuentes de agua superficiales: ríos Cauca, Cali, Meléndez y Pance; aunque el SDA de la ciudad está conformado por las redes Baja, Alta, Reforma y Pance (PDA, 2008), este estudio se enfocó en la red baja, la cual suministra agua potable a cerca del 80 % de la población usando el río Cauca como fuente de abastecimiento, la cual es tratada en las PTAP río Cauca y puerto Mallarino. Las etapas desarrolladas para la evaluación del riesgo del SDA fueron:

- Conformación del equipo PSA y recopilación de información secundaria disponible.
- Elaboración de la matriz de peligros y eventos peligrosos.
- Valoración del riesgo mediante la matriz semicuantitativa.

2.1 Conformación del equipo PSA y recopilación de información secundaria disponible

Considerando la metodología de los PSA recomendada como estrategia de aseguramiento de la calidad del agua, se conformó un equipo multidisciplinario con apoyo del personal operativo y técnico de la empresa prestadora del servicio, asesores con

Tabla 1. Esquema de la matriz de peligros y eventos peligrosos

Evento Peligroso							Peligro						
Código	Evento	Causa/Fundamento	Clasificación				Comentario	Clasificación					
			D	O	M	EM		E	B	Q	F	R	I

experiencia en operación y mantenimiento de todo el SAAP de la ciudad y profesionales e investigadores de la academia.

La búsqueda de la información secundaria disponible sobre el SDA, se realizó mediante visitas técnicas a la empresa prestadora del servicio de acueducto y en entidades como instituciones de salud, ambientales, educativas y de planeación municipal, con el objetivo de recopilar información por comunas o barrios que conforman la red baja e identificar potenciales peligros y eventos peligrosos que podrían alterar la calidad del agua en el SDA.

2.2 Elaboración de la matriz de peligros y eventos peligrosos

Con el apoyo de la información recopilada en la etapa anterior y la reportada en la literatura sobre el comportamiento del SDA, se elaboró la matriz de peligros y eventos peligrosos apoyados en la metodología de los PSA (Bartram *et al.*, 2009; WHO, 2011). Se diferenciaron los componentes del SDA y en función de ellos se construyó la matriz clasificada en cuatro componentes: redes, tanques de almacenamiento, estaciones de bombeo y otros (asociados a aspectos organizacionales, financieros, de la empresa y a factores externos o situaciones de emergencia que podrían comprometer la calidad, cantidad y continuidad del servicio).

La **Tabla 1** muestra el esquema de la matriz de peligros y eventos peligrosos, donde se indica que para cada componente se identificaron los eventos peligrosos y a cada evento se le asignó un código y su causa o fundamento según su origen (D: diseño, O: operación, M: mantenimiento, EM: emergencias o E: factores externos). Los peligros fueron clasificados en B: biológico, Q: químico, F: físico, R: radiológico, I: asociado a la infraestructura física (daños en instalacio-

nes) y C: asociado a la cantidad de agua (insuficiencia de agua).

2.3 Valoración del riesgo mediante la matriz semicuantitativa

La valoración del riesgo comprendió la estimación del riesgo, la identificación de las medidas de control existentes y la reestimación del riesgo; inicialmente la estimación del riesgo se efectuó sin considerar las medidas de control existentes en el SDA y posteriormente se reestimó el riesgo considerando el nivel de eficacia de las mismas. Se adaptó la matriz semicuantitativa propuesta por WHO (2011) ajustando el significado de los niveles de probabilidad de ocurrencia de los eventos peligrosos y la severidad o impacto de éstos y se consideraron aspectos relacionados con la calidad y cantidad de agua y continuidad del servicio; esto permitió proponer una matriz de uso específico para los SDA y que facilitara la evaluación de riesgos de forma amplia y precisa. Cabe destacar que en la mayoría de las experiencias de PSA reportadas a nivel internacional se ha empleado la matriz semicuantitativa genérica propuesta por WHO (2011) con mínimos ajustes. La **Tabla 2** muestra la matriz propuesta en el estudio.

La clasificación final del riesgo se basó en cuatro niveles de acuerdo a la puntuación obtenida, Bajo (< 6), Medio (6-9), Alto (10-15) y Muy alto (>15).

Para cada evento peligroso, la estimación del riesgo se realizó multiplicando la probabilidad de ocurrencia (escala 1-5) y el impacto o gravedad de sus consecuencias (escala 1-5), esta ponderación y la adaptación de la matriz fue discutida y retroalimentada con los miembros del equipo PSA soportada por la metodología Delphi (Landeta, *et al.*, 2011) en donde mediante reuniones técnicas con el equipo PSA y mediante el análisis de la información cualitativa y cuantitativa de

Tabla 2. Matriz semicuantitativa adaptada para la evaluación del riesgo en el SDA red baja ciudad de Cali

Matriz de riesgo semicuantitativa			Impacto				
			INSIGNIFICANTE Sin repercusión. No detectable distribución de agua segura en todo el SDA	MENOR Suministro de agua con incumplimiento de características organolépticas en parte o todo el SDA	MODERADO Consecuencias en la salud pública a largo plazo (riesgo crónico) y/o características organolépticas. < 12 horas de insuficiencia de agua en parte del SDA	MAYOR Incumplimiento reglamentario con repercusión en la salud pública a corto (riesgo agudo) o largo plazo (riesgo crónico). Insuficiencia de agua > 12 horas en parte del SDA	CATASTRÓFICO* Incumplimiento reglamentario con repercusión en la salud pública a corto (riesgo agudo) y largo plazo (riesgo crónico). Insuficiencia de agua en todo el SDA
			Valor: 1	Valor: 2	Valor: 3	Valor: 4	Valor: 5
PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	CASI CERTEZA* . Ha ocurrido en varias oportunidades y existe certeza que puede volver a ocurrir. Frecuencia: diaria o varias veces al mes	5	5	10	15	20	25
	PROBABLE . Ha ocurrido en algunas oportunidades. Frecuencia: una o varias veces al año	4	4	8	12	16	20
	MODERADO . Ha ocurrido alguna vez. Frecuencia: al menos 1 vez en 5 años	3	3	6	9	12	15
	IMPROBABLE . Es posible y no puede descartarse totalmente. Frecuencia: ha ocurrido al menos 1 vez en 5 10 años	2	2	4	6	8	10
	RARO . No ha ocurrido pero puede presentarse. Frecuencia: 1 vez en más de 10 años	1	1	2	3	4	5
			Puntuación del riesgo	< 6	6-9	10-15	≥ 16
			Nivel de riesgo	Bajo	Medio	Alto	Muy alto

Tabla 3. Información recopilada y entidades que suministraron la información

INFORMACIÓN RECOPIADA	DEPENDENCIA	INSTITUCIÓN
Reportes de datos de la calidad del agua y valores del IRCA* de las estaciones monitoreadas por EMCALI en la red	Laboratorio Central de Control de Calidad del Agua	EMCALI EICE ESP
Datos de daños y reparaciones de acometidas domiciliarias	Departamento de Atención Operativa	EMCALI EICE ESP
Datos de daños y reparaciones de alcantarillado	Departamento de Recolección de Aguas Residuales	EMCALI EICE ESP
Información conexiones erradas de alcantarillado		
Zonas de inundación de la ciudad de Cali		
Zonas con acueducto y sin alcantarillado		
Datos de presiones en la red	Departamento de Distribución	EMCALI EICE ESP
Tipo de material de la red por barrios		
Zonas muertas, de baja velocidad y puntos extremos en el sistema de distribución		
Información sobre mantenimiento de tanques y de redes		
Edad de tuberías		
Catastro red de distribución de agua potable		
Existencia de cruces en la red de distribución con el alcantarillado	Departamento de Distribución y Recolección de Aguas Residuales	EMCALI EICE ESP
Reportes de quejas de la calidad del agua potable	Gerencia comercial	EMCALI EICE ESP
Información de reposición de redes en alcantarillado y acueducto	Departamento de Ingeniería	EMCALI EICE ESP
Inventario de tipo de material usado en conexiones intradomiciliarias, edad de las instalaciones internas	Departamento de Ingeniería de la Gerencia de Acueducto. Atención Operativa Bomberos	EMCALI EICE ESP Bomberos
Información sobre campañas de educación realizadas a la población con respecto al manejo de las conexiones intradomiciliarias	Gerencia comercial y Departamento de Gestión Ambiental	EMCALI EICE ESP Secretaría de Salud
Censo de edificaciones, instituciones (hospitales, colegios, centros comerciales) con almacenamiento intradomiciliario	Departamento de Ingeniería de la Gerencia de Acueducto y Alcantarillado EMCALI	EMCALI EICE ESP
Informe de la calidad del agua para consumo humano en el municipio de Santiago de Cali	Departamento de Gestión Ambiental	Secretaría de Salud
Información sobre los estudios de prevención de enfermedades asociadas al ambiente		Secretaría de Salud
Cartografía básica del municipio de Santiago de Cali	POT y servicios públicos	Planeación Municipal
Microzonificación sísmica del municipio de Santiago de Cali	Departamento de Gestión del riesgo	DAGMA
Proyectos de investigación sobre el SAAP	Biblioteca, centros de estudio	Universidad del Valle, Javeriana

la red baja del SAAP, los criterios basados en evidencias encontradas en la literatura técnica, el conocimiento del SDA y la experiencia de los participantes, se llegó a un consenso de opiniones.

La valoración del riesgo también permitió identificar la necesidad de formular programas de mejoramiento, soporte o apoyo al PSA que incluyan nuevas medidas de control o mejoras de las ya existentes como parte de las estrategias de gestión del riesgo dentro del enfoque de los PSA para la reducción del riesgo

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Conformación del equipo PSA y recopilación de información secundaria disponible

En el equipo PSA participó personal técnico, operativo y gerencial de la entidad prestadora del servicio de agua, un asesor experto en el SAAP de la ciudad de Cali con más de 20 años de experiencia y académicos con trayectoria en temas de docencia e investigación sobre el tratamiento del agua y el SAAP de la ciudad de Cali. La **Tabla 3** relaciona las entidades en las que se recopiló la información usada en el estudio.

Autores como Sturm *et al.* (2008), Törnqvist *et al.* (2008), Bartram *et al.* (2009) y WHO (2011) mencionan que uno de los inconvenientes que se presentan en la evaluación de riesgos es la recopilación de información sobre el funcionamiento de los SAAP ya que en muchos casos ésta no está dispuesta de manera adecuada para su uso o no existe. En este estudio, aunque parte de la información no se encontraba de manera precisa (en algunas ocasiones no existía o se presentaba una inadecuada recopilación y procesamiento por parte de las diferentes entidades consultadas), la información recopilada del SDA red baja fue suficiente para construir la matriz de peligros y eventos peligrosos y la matriz semicuantitativa de evaluación del riesgo; sin embargo, fue necesaria la sistematización, agrupación, unificación de formatos y procesamiento de los datos existentes, lo que demandó tiempo y recursos humanos y financieros por encontrarse la información distribuida en diferentes dependencias dentro de la misma empresa.

Es fundamental entender y crear conciencia sobre el valor de una adecuada recopilación de información del SDA por parte de los diferentes actores involucrados en el aseguramiento de la calidad del agua, pues a manera de ejemplo sobre las dificultades que se presentaron con la recopilación de la información, se pueden mencionar los datos de quejas de calidad de agua por parte del usuario final, que aunque son recopilados por la empresa, la información está fragmentada en diferentes dependencias y no se aprovecha su uso como un posible indicador de calidad del agua, sino en la parte comercial. Esta información es clave para evaluar el comportamiento del SDA y sirve de medida de control para detectar potenciales fallas del mismo, ya que el reporte de cambios en la apariencia, olor, sabor del agua, pérdida de presión etc., podría servir de indicador de la ocurrencia de eventos peligrosos que comprometen la calidad del agua potable (Ainsworth, 2004; Cunliffe *et al.* 2011).

3.2 Elaboración de la matriz de peligros y eventos peligrosos

La información recopilada sobre el SDA desde su descripción hasta su funcionamiento, es primordial para poder determinar los puntos del sistema que son vulnerables a eventos peligrosos e identificar los tipos de peligros relevantes (Vieira y Morais, 2005; Bartram *et al.*, 2009). Con base en la información recopilada, el conocimiento del SDA y estudios realizados en el SDA como el de Pérez *et al.* (2012), se construyó la matriz de peligros y eventos peligrosos del SDA red baja, donde se identificaron un total de 38 eventos peligrosos (21 en redes, 3 en tanques de almacenamiento, 3 en estaciones de bombeo y 11 en otros).

De los eventos peligrosos identificados el 58 % del total de estos están relacionados en su mayoría con problemas de mantenimiento, un 55 % del total de eventos con la operación y el 45 % del total con el diseño y por último factores externos y asociados a condiciones de emergencia o contingencia, comportamiento que coincide con lo indicado por la National Research Council (2006), donde afirma que el mantenimiento es una de las actividades principales para poder asegurar la integridad del SDA.

Tabla 4. Fragmento matriz de peligros y eventos peligrosos del SDA red Baja Cali

Componente	Código*	Evento peligroso	Peligro asociado
RED:	EV_7_R	Baja cobertura del monitoreo de calidad de agua en el SDA	Biológico, químico y físico
	EV_21_R	Prácticas inadecuadas en la construcción de nuevas redes a cargo de urbanizadores y/o el prestador del servicio	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua e infraestructura
Tanques de almacenamiento	EV_1_T	Inadecuado funcionamiento hidráulico de los tanques de almacenamiento	Biológico, químico y físico
	EV_2_T	Crecimiento de biopelícula en las paredes de los tanques y acumulación de sedimentos	Biológico, químico y físico
Estaciones de bombeo	EV_1_E	Falla o ausencia de electricidad en las estaciones de bombeo	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua e infraestructura
	EV_3_E	Inadecuada operación y mantenimiento de las estaciones de bombeo	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua e infraestructura
Otros	EV_2_O	Inseguridad, actos de vandalismo y terrorismo en todo el Sistema de Abastecimiento	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua, Radiológico e infraestructura
	EV_7_O	Falta de recursos financieros e inadecuada gestión gerencial	Biológico, químico, físico, insuficiencia de agua e infraestructura

*EV: Evento_ número del evento _componente: R red, T tanques de almacenamiento, E estaciones de bombeo y O otros

En la **Tabla 4** se muestra a manera de ejemplo un fragmento de la matriz de peligros y eventos peligrosos del SDA para cada uno de los componentes del SDA, junto con su peligro asociado.

Un ejemplo de los eventos peligrosos citados en la **Tabla 4** es el denominado EV_7_R donde a pesar que la empresa prestadora ha ido incrementando el número de puntos de monitoreo a partir de lo definido según la Resolución 0811 de 2008 (MPS, 2008) y las recomendaciones del estudio de Montoya *et al.* (2009), aún se siguen haciendo ajustes en algunos puntos debido a inconvenientes en la adecuación física de los mismos. Esta acción es importante, ya que la falta de cobertura en el control de calidad de agua puede afectar la toma de decisiones sobre la operación del sistema y tener un diagnóstico preciso y veraz sobre la calidad del agua que permita identificar zonas de riesgo, sus causas y actuar oportunamente en casos de contaminación del agua potable (Montoya *et al.*, 2009; WHO, 2011).

3.3 Valoración del riesgo mediante la matriz semicuantitativa

Una vez sistematizados los peligros y eventos peligrosos, se identificaron las medidas de control existentes para cada uno de los 38 eventos peligrosos definidos en las matrices de peligros y eventos peligrosos del SDA; la evaluación del riesgo para cada evento se realizó inicialmente sin considerar las medidas de control existentes y posteriormente se reestimó considerando la eficacia de las medidas de control. La **Tabla 5** muestra un fragmento de la matriz de evaluación del riesgo, mostrándose un evento peligroso por cada uno de los componentes en que se dividió el SDA y su respectiva estimación del riesgo sin y con medidas de control.

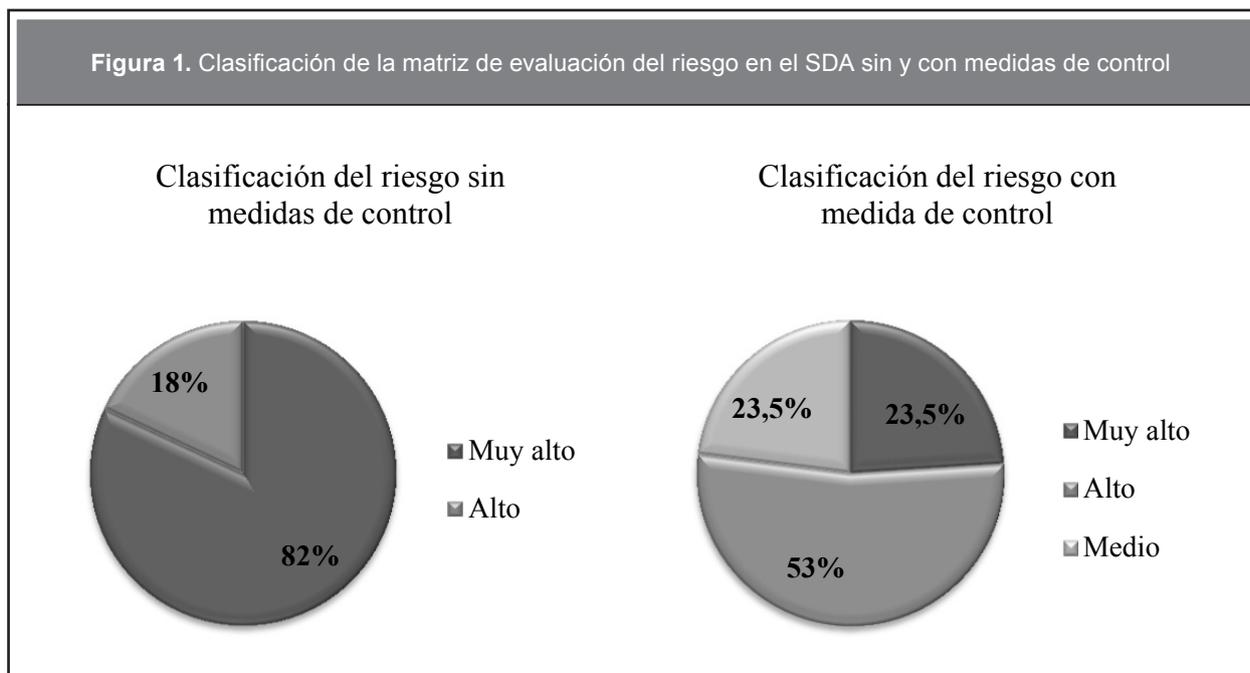
La **Figura 1** muestra la clasificación del riesgo sin y con medidas de control en porcentaje; en la misma se observa que sin considerar las medidas de control existentes, de los 38 eventos peligrosos identificados, 31 eventos peligrosos se clasifican en un nivel de riesgo muy alto y los 7 restantes en nivel alto,

Tabla 5. Fragmento de la matriz de evaluación de riesgo en el SDA

Evento peligroso	Estimación del riesgo sin MC			Medidas de control (MC)	Estimación del riesgo con MC		
	P	I	R		P	I	R
Red: Baja cobertura del monitoreo de calidad de agua en el SDA	4	4	Muy alto	Continuar con la implementación y/o adecuación de los puntos de monitoreo	3	4	Alto
				Mantenimiento preventivo y calibración de equipos de monitoreo.			
Red: Prácticas inadecuadas en la construcción de nuevas redes a cargo de urbanizadores y/o el prestador del servicio	3	4	Alto	Revisión y aprobación, por parte del prestador del servicio, de los diseños de redes de acueducto y alcantarillado realizados por urbanizadores y contratistas propios.	2	4	Medio
				Supervisión continua de obras para verificar el cumplimiento de los diseños aprobados y los procedimientos de construcción.			
				Supervisión de la calidad de los materiales empleados en las actividades de construcción.			
Tanques almacenamiento: Crecimiento de biopelícula en las paredes de los tanques y acumulación de sedimentos	5	4	Muy alto	Operación adecuada de las barreras de tratamiento (controlar turbiedad, corrosión, concentración Fe y Mn, materia orgánica etc.).	2	4	Medio
				Lavado y desinfección de tanques de almacenamiento (min. 4 veces/año)			
				Monitoreo de calidad del agua a la entrada y salida de los tanques de almacenamiento.			
				Operar el SDA evitando niveles mínimos o elevados de agua en los tanques de almacenamiento que incrementen la edad del agua debido a los actuales problemas hidráulicos del SDA.			
Estaciones de bombeo: Inadecuada operación y mantenimiento de las estaciones de bombeo	4	4	Muy alto	Ejecución de programas de inspección y mantenimiento de las estaciones de bombeo (reposición de componentes, corrección de fugas, control de corrosión externa)	3	4	Alto
				Actualización de procedimientos de operación, mantenimiento y continuidad del proceso de gestión de calidad.			

MC: Medidas de control, P: Probabilidad, I: Impacto, R: Riesgo, PM: Puerto Mallarino

Figura 1. Clasificación de la matriz de evaluación del riesgo en el SDA sin y con medidas de control



ninguno en nivel medio o bajo. Con la aplicación de las medidas de control identificadas y considerando su nivel de eficacia, se logró reducir el nivel de riesgo de los mismos (9 eventos en nivel muy alto, 20 en nivel alto y 9 en nivel medio, ninguno en nivel bajo).

Aunque las medidas de control existentes permitieron reducir los niveles de riesgo, ningún evento peligroso logró disminuir a un nivel bajo y 9 eventos continuaron clasificados en niveles de riesgo muy alto, lo que indica la necesidad de reforzar las medidas de control existentes para mejorar su eficacia y/o la evaluación de nuevas medidas que permitan reducir los niveles de riesgo.

Los eventos peligrosos que presentaron niveles de riesgo muy alto estuvieron asociados principalmente a daños en las tuberías de agua potable relacionados con el tipo de material, las fluctuaciones de presión debidas al funcionamiento hidráulico del sistema, elevada edad del agua, prácticas inadecuadas en la reparación y reposición de componentes del SDA, elevado porcentaje de pérdidas en el sistema que incrementan el índice de agua no contabilizada, la ausencia de información sistematizada sobre el comportamiento del SDA, fallas humanas (falta de capacitación, supervisión, conciencia del concepto del aseguramiento de la calidad del agua, compromiso

del personal operativo y administrativo) la corrosión interna y externa de los elementos del SDA (tuberías, estructuras, equipos, válvulas). Gran parte de estos eventos peligrosos también han sido identificados por otros estudios como críticos por ser los más comunes y prioritarios en los SDA (Lee y Schwab, 2005; National Research Council, 2006; Moreno, 2009; WHO, 2011).

En general, la evaluación del riesgo y el análisis de las medidas de control permitieron evidenciar la efectividad de las mismas e identificar la necesidad de formular programas de soporte o apoyo que permitan optimizar, reforzar o mejorar las medidas existentes e incluso formular nuevas medidas que generen una reducción del riesgo como parte del enfoque de los PSA. En la **Tabla 6** se resumen los programas propuestos que podrían desarrollarse para optimizar las medidas de control existentes y/o las nuevas propuestas que pueden servir de instrumento de priorización y planeación de inversiones para la empresa prestadora del servicio, además como medidas de reducción de los niveles de riesgo.

La asignación de tiempo y recursos para la ejecución de los programas de mejoramiento dependen de la planeación y decisión del personal directivo o de la alta gerencia, lo que ratifica la importancia de