UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá.

Ana Mercedes Casas Forero

Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Ingeniería
Departamento de Ingeniería Química y Ambiental
Bogotá, Colombia
2012

Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá.

Ana Mercedes Casas Forero

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:

Magister en Ingeniería – Ingeniería Ambiental

Director:

Ing. Leonardo Emilio Calle Páez MSc.

Asesor:

Ing. Pedro Nel Gamba García

Línea de Investigación:

Procesos Sostenibles

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ingeniería

Departamento de Ingeniería Química y Ambiental

Bogotá, Colombia

2012

"Hay una fuerza motriz más poderosa que el vapor, la electricidad y la energía atómica: la voluntad."

"Intenta no volverte un hombre de éxito, sino volverte un hombre de valor."

“Los ideales que iluminan mi camino y una y otra vez me han dado coraje para enfrentar la vida con alegría han sido: la amabilidad, la belleza y la verdad”.

Albert Einstein

Agradecimientos

A Dios por ser mi roca y fortaleza

A mis padres por su apoyo incondicional

A mi hermanita por ser mi modelo a seguir y que sin su apoyo el resultado de este proyecto no sería el mismo.

A mi Director por su paciencia, apoyo y tiempo de dedicación

A la Secretaria de Ambiente, en especial a la Doctora María Odilia Clavijo Rojas y los Ingenieros Octavio Reyes, y Pedro Nel Gamba por brindarme la oportunidad de desarrollar mi trabajo de grado en la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo

Mis compañeritos de la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo por su colaboración en el desarrollo del proyecto

A mis amigos, especialmente a Cons y Johannita por estar siempre pendientes.

Resumen

Las acciones desarrolladas por las autoridades para aprobar la implantación, ejecución y control de los programas de ahorro y uso eficiente del agua, muchas veces no cuentan con un mecanismo normalizado que permita conocer si el sector industrial está realizando un uso moderado del recurso hídrico. Por tanto, se calculó el módulo de consumo óptimo y se desarrolló un modelo matemático para estimar el módulo de agua en función de la producción para cada etapa del proceso productivo del sacrificio de aves y procesamiento de productos cárnicos. Con base en el estudio de caso, se desarrolló una línea metodológica general que permite estimar los módulos de consumo de agua por etapa de proceso para otros sectores productivos de interés para la Autoridad Ambiental,

Palabras clave: Módulos de consumo, uso eficiente del agua, aves, cárnicos, modelo

Abstract

The actions developed by the authorities to adopt the implementation and monitoring of programs and efficient use of water, often it does not have a standard mechanism that allows knowing if the industry is making moderate use of water resources. Therefore, we calculated the optimal consumption module and developed a mathematical model to estimate the magnitude of water production function for each step of production process of poultry slaughter and processing of meat products. Based on the case study, there was also a general methodology for estimating the water consumption modules for each phase of process for other productive sectors of interest to the Environmental Authority,

Keywords: water demand, water conservation, slaughterhouse, poultry, meat, model

.

Contenido

Pág.

Resumen ..... **IX**

Lista de figuras ..... **XIII**

Lista de tablas ..... **XV**

Introducción **1**

1. Capítulo 1. Revisión Bibliográfica **5**
1.1 Estado del Recurso Hídrico 5
1.1.1 Oferta y disponibilidad de agua en Colombia 8
1.1.2 Demanda de agua en Colombia 9
1.1.3 Uso de agua industrial 11
1.1.4 Alternativas y técnicas de uso eficiente de agua 13
1.2 Marco Normativo Colombiano para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua 16
1.3 Industria de Alimentos en Bogotá 18
1.3.1 Sector Cárnico 19
1.4 Módulos de Consumo 27

2. Capítulo 2 Metodología **33**
2.1 Recopilación de Información Secundaria 33
2.2 Matriz de Priorización 34
2.3 Diseño de Encuesta 35
2.4 Selección de la Muestra de Empresas a Visitar 35
2.5 Análisis Estadísticos 36
2.5.1 Análisis de varianza 36
2.5.2 Criterio de Chaveen, ... 36
2.5.3 Coeficiente de correlación de Pearson 37
2.6 Metodología estimación módulo de consumo 37

3. Capítulo 3 Resultados y Análisis **39**
3.1 Selección del Subsector 39
3.1.1 Descripción del subsector 43
3.2 Identificación de las Variables que Influyen en el Consumo de Agua 45
3.2.1 Sacrificio de Aves 46
3.2.2 Procesamiento de productos cárnicos 48
3.2.3 Variables identificadas 50
3.3 Análisis de Producción y Consumo de Agua 52
3.3.1 Sacrificio de Aves 52
3.3.2 Productos procesados 58

3.4 Módulos de Consumo.....63
3.4.1 Módulo de consumo para el proceso de Sacrificio de Aves 63
3.4.2 Módulo de consumo para el proceso de Productos Cárnicos Procesados.....67
3.4.3 Modelo matemático de correlación de consumo de agua. 69
3.4.4 Calculo del módulo de consumo óptimo de referencia.....79
3.5 Línea Metodológica para Estimar los Módulos de Consumo de Agua para los Sectores Productivos.....86

4. Conclusiones y recomendaciones 97
4.1 Conclusiones.....97
4.2 Recomendaciones.....100

A. Anexo: Encuesta desarrollada para visitas técnicas 103

B. Anexo: Información sobre de consumo del sector agroalimentario 105

C. Anexo: Acta de visita recomendada.....107

Bibliografía.....109

Lista de figuras

Pág.

Figura 1-1. Recursos hídricos mundiales y consumo [3].....6
Figura 1-2. Comportamiento del consumo de agua en el último siglo [3].....7
Figura 1-3. Volumen de agua en áreas hidrográficas representativas (Km3) [8].....8
Figura 1-4. Demanda de agua para las actividades socioeconómicas (%)[8] 9
Figura 1-5. Distribución sectorial de la demanda de agua en Bogotá [8] 10
Figura 1-6. Usos del agua de los sectores productivos controlados por SRHS 2009 [18] 19
Figura 1-7. Proceso productivo del Beneficio de aves 21
Figura 2-1. Resumen Metodología desarrollada para estructuración de matriz de priorización.....35
Figura 2-2. Resumen de la Metodología desarrollada para la estimación de los módulos de consumo.....38
Figura 3-1. Distribuciones índices de consumo para el sector agroalimentario para Bogotá D.C. 40
Figura 3-2. Consumo Per Cápita Carnes en kg/hab/día (2008-2009) (FENAVI-FONAV, 2011).....44
Figura 3-3. Diagrama de flujo identificado del proceso de sacrificio de aves 46
Figura 3-4. Diagrama de flujo identificado para el procesamiento de productos cárnicos 48
Figura 3-5. Distribución del consumo de agua en un periodo de un año (E significa Empresa).....55
Figura 3-6. Porcentaje de distribución del consume de agua promedio en el sacrificio de aves. 57
Figura 3-7. Distribución del consumo de agua en un periodo de un año.....60
Figura 3-8. Porcentaje de distribución del consume de agua promedio en el sacrificio de aves. 62
Figura 3-9. Nivel de consumo de agua y número de aves sacrificadas por empresa.....63

Figura 3-10. Comparación entre el módulo de consumo de las empresas Bogotá y con otros países 66
Figura 3-11. Nivel de consumo de agua y toneladas de producción por empresa 67
Figura 3-12. Comparación módulo de consumo de agua de las empresas Bogotá y otros países 69
Figura 3-13. a) Correlación entre consumo de agua vs número de aves sacrificadas b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de escaldado 71
Figura 3-14. a) Correlación consumo de agua vs número de aves sacrificadas b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de eviscerado 72
Figura 3-15. a) Correlación consumo de agua vs número de aves sacrificadas b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de enfriamiento 72
Figura 3-16. a) Correlación consumo de agua vs número de aves sacrificadas y b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de limpieza 73
Figura 3-17. Herramienta cálculo de consumo de agua 74
Figura 3-18. a) Correlación consumo de agua vs producción b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de cocción 76
Figura 3-19. a) Correlación consumo de agua vs producción b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de enfriamiento 77
Figura 3-20. a) Correlación consumo de agua vs producción b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de limpieza 78
Figura 3-21. (ii) Relación consumo de agua y producción en las etapas c) Enfriamiento d) Limpieza 79
Figura 3-22. Relación consumo de agua y producción en las etapas a) Cocción b) Enfriamiento c) Limpieza 80
Figura 3-23. Esquema de la línea metodológica 87
Figura 3-24. Esquema de balance de agua por etapa 91

Lista de tablas

Pág.

Tabla 1-1. Tipos de suministro de agua por cada sector [2].....7
Tabla 1-2. Tipos de suministro de agua para el sector industrial [11] 11
Tabla 1-3. Técnicas para minimizar el consumo de agua [14] 14
Tabla 1-4. Distribución de las plantas de beneficio de pollo [21].....20
Tabla 1-5 Uso de agua en el beneficio de pollo [28] 23
Tabla 1-6. Índices de consumo para sectores industriales establecidos por la CAR [32] .28
Tabla 1-7. Índices de consumo para sectores industriales establecidos en CORANTIOQUIA [33].....29
Tabla 1-8. Metodología desarrollada por AMVA [31] 29
Tabla 1-9. Índices de consumo para algunos sectores industriales [31] 30
Tabla 3-1 Índices de consumo del sector agroalimentario en Bogotá 40
Tabla 3-3 Descriptores de evaluación 41
Tabla 3-4 Resultados de la evaluación de los subsectores en estudio 42
Tabla 3-5 Resultados total de la evaluación 42
Tabla 3-6. Puntos de consumo de agua 48
Tabla 3-7. Consumos de agua en la industria cárnica clasificados en función del tipo de actividad.....49
Tabla 3-8. Descripción de las variables 50
Tabla 3-9. Número de aves sacrificadas durante 12 meses para las 8 empresas en estudio 53
Tabla 3-10. Producción promedio de aves para las 8 empresas en estudio 54
Tabla 3-11. Consumo de agua por etapa de proceso para las 8 empresas en estudio....56
Tabla 3-12. Toneladas de producto procesado durante 12 meses para las 8 empresas en estudio 58
Tabla 3-13. Producción promedio de productos procesados para las 8 empresas en estudio 59
Tabla 3-14. Consumo de agua por etapa de proceso para las 8 empresas en estudio...61

Tabla 3-15. Módulo de consumo de agua por etapa de proceso para las 8 empresas en estudio 64
Tabla 3-16. Módulos de consumo reportados en la literatura 66
Tabla 3-17. Módulo de consumo de agua por etapa de proceso para las 8 empresas en estudio 68
Tabla 3-18. Matriz de la correlación de Pearson para los procesos en estudio 70
Tabla 3-19. Matriz de la correlación de Pearson para los procesos en estudio 75
Tabla 3-20. Módulos de consumo óptimos para el Sacrificio de Aves 80
Tabla 3-21. Módulos de consumo óptimos para Productos cárnicos procesados..... 81
Tabla 3-22. Módulos de consumo óptimos y el promedio de módulos de consumo reales para sacrificio de aves 82
Tabla 3-23. Módulos de consumo óptimos y el promedio de módulos de consumo reales para productos cárnicos procesados..... 82
Tabla 3-24 Descriptores de evaluación 88

Introducción

El sostenido crecimiento económico y el desarrollo social experimentado por el país a partir de la década del 90, han generado demandas cada vez mayores sobre los recursos hídricos. La experiencia internacional indica que la gestión de los recursos hídricos pasa de una fase en la cual predominan los problemas de tipo cuantitativo a una en que la restricción principal la imponen los aspectos de calidad de las aguas y la disminución del consumo y uso eficiente de los recursos naturales. Uno de los más grandes desafíos que enfrenta la gestión del recurso hídrico lo constituye la incertidumbre en relación con su disponibilidad futura como consecuencia de la variabilidad climática [1] .

En Colombia, el Ministerio de Ambiente ha desarrollado normatividad encaminada a generar mecanismos del manejo, protección y control del recurso hídrico como la Ley 99 de 1993 que faculta a las Corporaciones Autónomas Regionales para otorgar las concesiones, permisos, autorizaciones, y licencias ambientales requeridas para el uso de recursos naturales renovables y para el desarrollo de actividades que afecten el medio ambiente, así como ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos de agua; y la Ley 373 de 2007 que establece el programa para el uso eficiente y ahorro del agua, donde las corporaciones autónomas regionales y demás autoridades ambientales encargadas del manejo, protección y control del recurso hídrico en su respectiva jurisdicción, aprobarán la implantación, ejecución y control de dichos programas.

Así mismo, la Ley 373 de 2007, en los artículos 7° y 8°, establece, entre otros aspectos que le corresponde a la Corporaciones Autónomas Regionales fijar consumos básicos en

función de los usos del agua y desincentivar los consumos máximos de cada usuario, así como también definir los mecanismos que incentiven el uso eficiente y ahorro de agua.

La Secretaría Distrital de Ambiente (SDA) realiza control al uso del agua con indicadores de consumo, los cuales en su mayoría no permiten evaluar las necesidades de demanda reales que requiere el industrial en el momento del cumplimiento de la normatividad y las metas de ahorro fijadas en los programas de ahorro y uso eficiente de agua, en el caso de la concesión de agua subterránea.

Dichas acciones no permiten conocer si el sector industrial está realizando un uso moderado del recurso hídrico, es decir, no se ha determinado la demanda de agua que requieren sectores industriales específicos. Por lo cual, se hace necesaria la determinación de la demanda de agua o módulos de consumo, lo que permitirá contar con una herramienta de control que evidencie la eficiencia del consumo de agua y obligue la implementación del programa para el uso eficiente y ahorro del agua.

Para la estimación del consumo de agua se priorizó un sector productivo del Distrito, éste se estableció con base en la consolidación de información reportada en las actividades de evaluación, seguimiento, control y vigilancia de los usuarios que utilizan el recurso hídrico en el Distrito, encontrando que el sector agroalimentario es el de mayor impacto por su alto consumo de agua y de pozos concesionados para la extracción de aguas subterráneas en Bogotá.

La selección del subsector se realizó a través de una matriz de priorización, la cual permitió evaluar aspectos tanto ambientales, de gestión y económicos, dando como resultado la priorización del subsector de cárnicos. Para este subsector se estudiaron las actividades de sacrificio de aves y procesamiento de productos cárnicos. Con base en el

análisis de la información primaria y secundaria recopilada, se calculó el módulo de consumo óptimo y se desarrolló un modelo matemático para estimar el módulo de agua en función de la producción para cada etapa del proceso productivo.

Finalmente con base en el estudio de caso, se desarrolló una línea metodológica general que permite estimar los módulos de consumo de agua por etapa de proceso para otros sectores productivos de interés para la Autoridad Ambiental, cumpliendo así con el objetivo trazado por la Secretaría Distrital de Ambiente en relación a contar con una herramienta de gestión que permitirá dar cumplimiento a la Ley 373 de 2007.

OBJETIVOS

General

Estimar el módulo de consumo hídrico para un subsector sector agroalimentario ubicado en la Jurisdicción de la Secretaría Distrital de Ambiente.

Específicos

- Seleccionar un subsector del sector agroalimentario prioritario para la SDA (Cárnicos y subproductos, pastas y harinas, aceites y grasas, bebidas, confiterías, productos lácteos y otros productos alimenticios).
- Determinar las principales las variables que controlan el consumo agua en el subsector seleccionado.
- Recopilar y analizar la información sobre el consumo real de agua en el subsector seleccionado
- Estimar el consumo de agua para el subsector en estudio.
- Desarrollar una metodología específica para la estimación de los módulos de consumo de agua para un subsector del sector agroalimentario.

- Comparar el consumo real con el requerimiento de agua calculado para el subsector en estudio.
- Desarrollar una línea metodológica general para estimar los módulos de consumo de agua para los sectores productivos ubicados en la Jurisdicción de la Secretaría de Ambiente.

Capítulo 1. Revisión Bibliográfica

La búsqueda de información partir de fuentes bibliográficas pertinentes se efectuó empleando principalmente las bases de datos como Science Direct, Blackwell Sinergy y Springerlink. Esta revisión se fundamenta desde el estado del recurso hídrico en el marco de la demanda de agua y las alternativas y técnicas de uso eficiente de agua, realizando un énfasis en el marco del sector de cárnicos, las características propias del sector y los procesos productivos del sacrificio de aves y de procesamiento de cárnicos. Por último se presenta un resumen de los trabajos realizados en Colombia para el cálculo de módulos de consumo para el sector industrial.

1.1 Estado del Recurso Hídrico

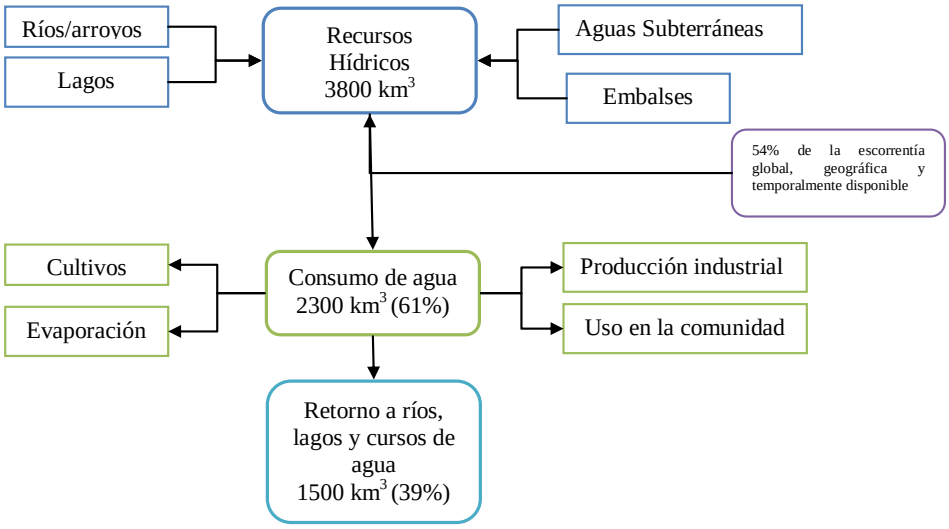
El agua es un elemento esencial para la existencia de los seres vivos y para el desarrollo de actividades sociales y productivas, estas impactan tanto directa e indirectamente las fuentes de agua. Mejía (2009) indica que actualmente el 40% de los habitantes del mundo no tiene la cantidad de agua mínima necesaria para aseo, y que en los próximos 20 años la cantidad de agua disponible decrecerá en un 30%. En este sentido, es importante para las labores de planificación sostenible del recurso hídrico conocer la cantidad de agua disponible, los niveles de demanda y las condiciones de interacción hidráulica necesarias para mantener el equilibrio demanda y oferta de las fuentes hídricas.

Aunque no se puede medir con precisión la cantidad de agua del planeta, se estima que habría unos 1.400 millones de kilómetros cúbicos, de los cuales el 97,4 % corresponde a agua salada, no apta para el consumo humano, y tan solo el 0,8% corresponde a agua dulce. Así mismo, su distribución no es uniforme, las dos terceras partes se encuentran en estado sólido, en el hielo de los glaciares y casquetes polares, de difícil acceso al consumo humano.

Por otra parte, aproximadamente 6.000 millones de personas habitan en la tierra, de las cuales, cerca del 20% viven en 50 países que carecen de este vital líquido y, siguiendo con el actual ritmo de consumo, este se convertirá en un problema mundial capaz de generar conflictos armados e incidirá en el futuro de la diversidad biológica de muchas zonas del planeta. [2]. Para el año 2025, el 60% de la población mundial vivirá en las poblaciones urbanas, que correspondería a alrededor de 5.000 millones de personas, la rapidez del crecimiento de la población urbana y de la industrialización está sometiendo a una gran presión los recursos hídricos en muchos países.

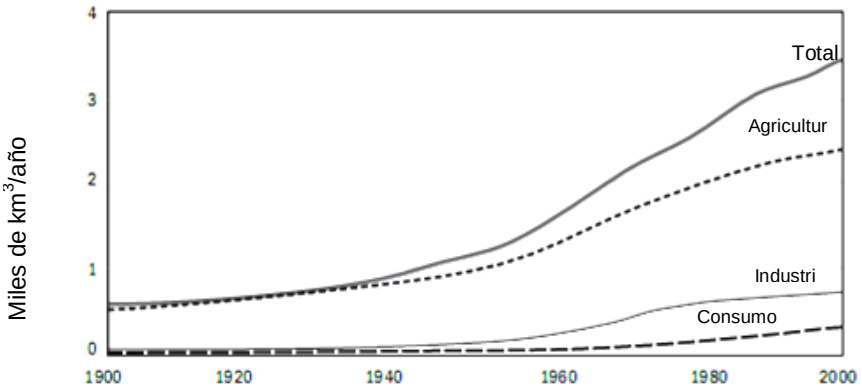
El recurso hídrico disponible proviene de ríos/arroyos, lagos, aguas subterráneas y embalses, del cual 61% es consumido en su mayoría por actividades de agricultura, industria y consumo humano, como se muestra en la Figura 1-1. Por lo cual, es necesario prestar atención especial a los efectos cada vez más importantes de la urbanización en la demanda y el consumo de agua, así como al papel decisivo que desempeñan las autoridades ambientales en la gestión del abastecimiento, utilización y tratamiento general de las agua.

Figura 1-1. Recursos hídricos mundiales y consumo [3]



Como se mencionó anteriormente, los sectores que registran una demanda creciente del recurso hídrico son agricultura, industria y consumo humano. En la Figura 1-2, se muestra que la agricultura tiene el mayor consumo, seguido por el sector industrial, el cual va en ascenso debido al desarrollo económico en los últimos años. Esto indica que es importante contar con una ordenación del recurso hídrico y así evitar su explotación excesiva.

Figura 1-2. Comportamiento del consumo de agua en el último siglo [3]



A nivel mundial, se cuenta con 3.600 Km3 de agua disponible, es decir, 1.600 litros/hab-día, de los cuales, aproximadamente la mitad no se consume (se evapora, infiltra al suelo o vuelve a algún cauce) y, de la otra mitad, se calcula que el 65 % se destina a la agricultura, el 25 % a la industria y, tan solo el 10 % a consumo doméstico, como se muestra en la Tabla 1-1

Tabla 1-1. Tipos de suministro de agua por cada sector [2]

Actividad	Promedio mundial
Agricultura	65
Industria	25
Consumo humano	10

El deterioro de los recursos hídricos ha atraído la atención mundial debido a los altos niveles de desperdicio en todos los sectores de la sociedad, y ha conducido a una creciente escasez de fuentes de alta calidad de agua. Por ello, en la década de los setenta se evidencio el interés por su adecuada gestión, dentro del contexto de las decisiones adoptadas en la conferencia de Naciones Unidas (ONU). Posteriormente, en 1987, se publicó el reporte de la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo, que contribuyó a incrementar la conciencia del público sobre los nexos existentes entre el desarrollo y el ambiente donde el agua cumple un rol fundamental. De acuerdo con lo que se ha denominado la primera evaluación de los recursos hídricos mundiales, realizada en Francia por las Naciones Unidas durante marzo de 2003, los problemas más importantes que se plantean en el siglo XXI son los de la calidad y buena administración del agua [4].

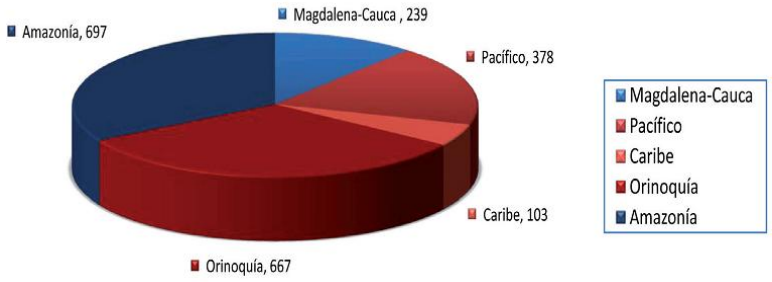
La problemática del recurso hídrico no solo es debida al elevado consumo de agua en los procesos industriales, sino al impacto ambiental generado por sus efluentes. Por tanto, las industrias han estado buscando alternativas que minimicen el impacto causado por el uso de este recurso natural. Además, las regulaciones ambientales y los costos asociados con el uso de los recursos hídricos se están convirtiendo en factores importantes en la competitividad de las industrias [5].

1.1.1 Oferta y disponibilidad de agua en Colombia

Colombia por su localización geográfica, su orografía y una gran variedad de regímenes climáticos, se ubica entre los países con mayor riqueza en recursos hídricos en el mundo. Sin embargo, cuando se considera en detalle que la población y las actividades socioeconómicas se ubican en regiones con baja oferta hídrica, que existen necesidades hídricas insatisfechas de los ecosistemas y que cada vez es mayor el número de impactos de origen antrópico sobre el agua, se concluye que la disponibilidad del recurso es cada vez menor [6-7].

En la Figura 1-3, se presenta la oferta hídrica para las cinco grandes regiones hidrológicas que caracterizan el territorio nacional continental de acuerdo con las estimaciones del IDEAM (2008), donde se muestra que la región Amazonía y Orinoquía cuenta con el mayor volumen de agua disponible, siendo la región Caribe la de menor oferta hídrica para consumo humano.

Figura 1-3. Volumen de agua en áreas hidrográficas representativas (Km3) [8]



INGEOMINAS resalta en el Mapa y en el Atlas Hidrogeológico de Colombia, que aproximadamente el 75% del territorio cuenta con zonas favorables para el almacenamiento de agua subterránea, especialmente en formaciones sedimentarias de edades Cuaternaria, Terciaria y

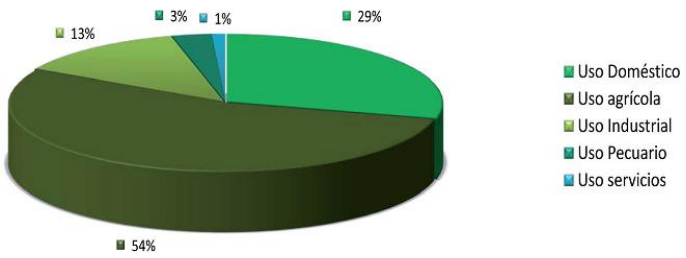
Cretácica, la misma institución calcula, a manera de pronóstico, que las zonas con mayor potencial abarcan alrededor de un 36% del área del país (415.000 Km2).

Con respecto a Bogotá, el sistema hídrico está constituido por las cuencas media del río Bogotá y alta del río Sumapaz, ambos afluentes del río Magdalena, y la cuenca alta del río Blanco, tributario del río Orinoco [9]. La cuenca del río Bogotá se localiza en el centro del departamento de Cundinamarca. El río nace en el Alto de la Calavera, en el municipio de Villapinzón, sobre los 3.400 msnm, en el páramo de Guacheneque, y desemboca en el río Magdalena alrededor de la costa a 280 msnm. [10]. Esta cuenca se divide en tres sectores: cuenca alta, media y baja, donde el Distrito Capital hace parte de la cuenca media del río Bogotá, cuyo sistema hídrico es considerado un conjunto de cuerpos de agua natural y/o artificial superficial y subterráneo.

1.1.2 Demanda de agua en Colombia

En estimaciones realizadas por el IDEAM, la demanda para el desarrollo de las actividades socioeconómicas en Colombia se representa principalmente mediante los siguientes usos: agrícola, doméstico, industrial, pecuario y servicios; presentando el sector agrícola el mayor porcentaje con un 54%, seguido con el 29% el doméstico y con el 13% el industrial, en menor (<3%) el pecuario y el de servicios (Figura 1-4)

Figura 1-4. Demanda de agua para las actividades socioeconómicas (%)[8]

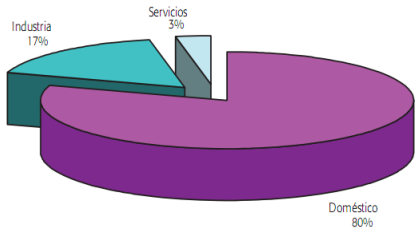


De acuerdo con los cálculos realizados por el IDEAM (2008) las ciudades con mayor demanda de agua doméstica son Bogotá, Cali, Medellín, Barranquilla y Cartagena, siendo las ciudades donde se concentra el mayor número de población urbana. Respecto a la demanda para uso agrícola ésta se

concentra principalmente en los departamentos de Tolima, Boyacá, Cauca, Cundinamarca, Huila, La Guajira, Nariño, Norte de Santander, Santander y Valle del Cauca, los cuales se destacan por su alta producción agrícola. La mayor demanda de agua por el sector industrial se concentra en Bogotá, Medellín, Barranquilla y Cali, en estas ciudades se encuentran ubicados los principales centros industriales del país.

Para el Distrito Capital el mayor porcentaje de consumo de agua es el sector doméstico con un 80%, seguido por el sector industrial con un participación del 17% y por último se encuentra el sector de servicios con un 3% (Figura 1-5). Al comparar estos resultados con la demanda a nivel nacional, Bogotá presenta un incremento de tres veces en el consumo de agua doméstica y para el sector de 1.3 veces.

Figura 1-5. Distribución sectorial de la demanda de agua en Bogotá [8]



En relación al uso de agua subterránea se destacan: la Isla de San Andrés, las alta y media Guajira y el Departamento de Sucre y Tolima, quienes utilizan principalmente este recurso para abastecimiento doméstico; el Valle del Cauca, la Sabana de Bogotá, el Urabá antiqueño, la zona bananera de Santa Marta y, Huila, lo utilizan para uso agrícola o industrial.

El crecimiento industrial en el país está regido por la disponibilidad de agua, y la elección de fuentes propias de abastecimiento ha sido la tendencia de la industria en Colombia por razones no solo de comodidad sino también de costos. Los sectores con mayor utilización del agua, como la producción de alimentos, cárnicos y bebidas, pueden encontrarse con desviaciones en sus programas de producción si no cuentan con una fuente de agua que garantice la continuidad y las características requeridas por sus productos.

Las fuentes propias tienen la ventaja de no ofrecer dependencias comerciales, pero pueden causar sobrecostos cuando las condiciones de calidad del agua no son las apropiadas. En la Tabla 1-2, se presentan algunas ventajas y desventajas de las fuentes de abastecimiento para el sector industrial.

Tabla 1-2. Tipos de suministro de agua para el sector industrial [11]

Tipo de suministro	Ventajas	Desventajas
Empresa de Servicios Públicos	* Deben garantizar óptima calidad, cantidad y continuidad * Gobierno regula prestación bajo costos eficientes * Existe autorregulación de mercados, favorecimiento el costo * No hay limitaciones de caudal, generalmente	* Costo mayos que otras fuentes * La gran mayoría ESP del país son ineficientes * Es necesario un vínculo comercial * Se puede requerir tratamiento adicional para ciertos procesos, aumentado los costos
Concesiones de agua superficial y subterránea	* Licencias otorgadas y controladas por las Autoridades Ambientales * Fuentes subterráneas son de buena calidad y normalmente no requieren tratamientos costosos	* Limitaciones de caudal por control de la autoridad ambiental * La explotación de fuentes superficiales y subterráneas de agua supera en la práctica su capacidad de regeneración, limitándose su uso. * Medición de consumos no controlada * Requiere inversión de infraestructura
Utilización de agua lluvia en las industrias	* Útil para actividades que no requieran alta calidad del agua * Bajo costo	* Requiere una instalación hidráulica dedicada a este tipo de agua

1.1.3 Uso de agua industrial

Cada industria requiere diferentes características en el suministro de agua relacionadas con caudal suficiente y con exigencias de calidad variables según el uso requerido. AMVA (2007), Balarión (2009) y Bernal et al (2006) indican que las industrias consumen agua fundamentalmente para los siguientes fines [12-13]:

- Materia prima: En la industria química son numerosos los procesos en los que para la obtención del producto, se aporta agua, tanto en fase líquida como en fase gaseosa. Especial

importancia tiene el uso del agua en la industria alimentaria como productos cárnicos, bebidas embotelladas, etc., pues en este caso el agua no solo constituye la mayor producción del producto acabado, sino que se requiere agua de una calidad superior a la de otros usos industriales.

- Transporte: El transporte hidráulico se emplea en la minería desde la antigüedad y se ha utilizado incluso en la construcción de diques y presas en que los materiales arcillosos se conducían en suspensión hasta el emplazamiento en que se colocaban por decantación. Actualmente, aparte de los mineros, tal vez sean las industrias de la celulosa y el papel, las carboníferas y los ingenios azucareros son las que más recurren a este método.
- Transferencia de calor: la forma más tradicional de suministrar energía calorífica a diversas zonas de un complejo industrial es la generación de vapor, si bien en plantas más modernas el vapor está siendo sustituido por el agua caliente, que presenta menores costos de instalación en sus circuitos. La circulación de agua fría es el sistema más común de enfriamiento en la industria, y este un uso sin excesivas exigencias de calidad.
- Generación de energía: la mayor parte de la energía generada en muchos países proviene de plantas termoeléctricas que emplean el vapor de agua para mover turbinas adaptadas a generadores. En la recuperación del vapor se usan condensadores, logrando establecer los volúmenes de reemplazo en un 1% del total del agua suministrada a la planta.
- Procesos de limpieza: se emplea el agua para limpiar superficies de trabajo, utensilios y equipos.

Existe una gran variabilidad en el consumo de agua en las industrias, ya que depende del sector que se trate, las diferencias pueden llegar a ser según Balarión (2009) de 1 a 20, siendo los sectores industriales con mayor consumo de agua el energético, el químico, las refinerías de petróleo, el sector textil y la fabricación de papel, entre otros.

Las necesidades de agua dependen, por lo tanto, de numerosos factores técnicos y económicos. Tiene gran importancia la abundancia o escasez de agua, así como su precio. Todo ello hace que, a diferencia de los usos domésticos del agua, industrias del mismo campo y productos similares ocasionen demandas de agua totalmente diferentes.

1.1.4 Alternativas y técnicas de uso eficiente de agua

Una de las alternativas para superar las dificultades existentes para reducir el consumo de agua en procesos industriales, sin modificar significativamente la planta industrial, es la reutilización y / o reciclaje de aguas residuales. En la actualidad, existe una fuerte tendencia hacia el uso de metodologías para controlar la contaminación en origen, especialmente a través de las aguas residuales, reutilización y / o reciclaje [5].

Existen diversas herramientas de gestión ambiental que permiten orientar los procesos hacia el logro de reducciones en el consumo de agua en las industrias. A continuación se presentan algunas técnicas recomendadas por AMVA (2007), Ministerio de Ambiente (2001) y Osantowski et al (2007).

- Indicadores de desempeño: El uso de indicadores para convertir las medidas en información útil para la toma de decisiones es recomendable. El establecimiento de líneas base – benchmarketing por metas internas o por valores obtenidos de industrias comparables es fundamental para alcanzar niveles eficientes de consumo de agua y de otras variables de gestión ambiental. Igualmente, la utilización de herramientas como balance de masas, tanto teórico como real son de gran importancia en el aumento del desempeño ambiental de las industrias.

- El ciclo de Deming e ISO 14001 – Mejoramiento Continuo: Como lo sugiere el Ciclo de Deming, un Sistema de Gestión Ambiental (SGA) bajo ISO 14001 debe estar planteado bajo la siguiente estructura:
  - Planeación – Identificar necesidades y establecer planes de solución
  - Implementación y operación – ejecutar lo planeado
  - Verificar y tomar de acciones correctivas – verificar si los resultados concuerdan con lo planeado
  - Revisión interna del logro de objetivos – Actuar para corregir o eliminar los problemas encontrados en la fase de verificación y generar mejoramiento continuo.

- Buenas prácticas: Establecer buenas prácticas que estén relacionadas con: i) Dirección y Planeación de la industria como la incorporación de costos integrales del agua, establecimiento de metas de reducción entre otras; ii) Niveles administrativos del proceso relacionados con la definición de indicadores, instalación de medidores de agua, división de procesos; iii) Auditores de proceso para el seguimiento a indicadores y iv) Operación y producción, donde deben trabajar en puntos críticos relacionados con arreglo de puntos de fuga de agua, procesos de limpieza hidráulica por mecánica).

- Opciones de uso eficiente de agua: Dentro de las principales opciones para el uso eficiente de agua se plantean las siguiente:
  - Optimización de procesos
  - Dispositivos ahorradores
  - Reducción de pérdidas
  - Reúso o reciclaje de agua
  - Fuentes Alternas como la utilización de aguas lluvias
  - Cambios de hábitos y programas de capacitación
  - Cambios tecnológicos
  - Modificación de los procedimientos

- Modificaciones del proceso: el consumo de agua podrá minimizarse a través de diversas modificaciones en el proceso, en particular, con cambios en equipos. Por ejemplo, reemplazar el sistema de intercambio de calor enfriado por agua por un sistema enfriado por aire, reemplazar la torre de enfriamiento por un sistema de enfriamiento a base de refrigerante.

- Cambios en las operaciones: Al cambiar algunas operaciones en el proceso productivo permiten reducir el consumo de agua, y los resultados obtenidos de aplicar dichos cambios varían de una industria a otra. A continuación se indican algunas alternativas de procesos para reducir el consumo de agua (Tabla 1-3)

Tabla 1-3. Técnicas para minimizar el consumo de agua [14]

Área donde minimizar el consumo de agua	Técnicas para minimizar el consumo de agua
Mejorar las operaciones de limpieza de equipo	▪ Dispositivos mecánicos de limpieza ▪ Cabezas de aspersión de alta presión

Área donde minimizar el consumo de agua	Técnicas para minimizar el consumo de agua
	▪ Revestimientos de los tanques ▪ Secuencias de enjuague a contracorriente ▪ Coordinación del calendario de limpieza ▪ Coordinación del calendario de producción ▪ Limpieza de tubos ▪ Métodos de limpieza en seco ▪ Cortina de aire
Maximizar la vida útil del agua de producción	▪ Secuencia de enjuague a contracorriente ▪ Medición de la conductividad ▪ Uso del agua desionizada como relleno
Optimizar el uso del agua	▪ Mejores sellos en bombas, tubos y válvulas ▪ Equipos automático para el control de flujo ▪ Reductores de flujo y monitoreo de flujo ▪ Control del nivel de agua ▪ Protecciones contra salpicaduras ▪ Tapas ó cubiertas sobre los tanques ▪ Rastreo del calor en los tubos

Según el Ministerio de Ambiente (2001) existen varios problemas a nivel industrial con el uso de agua como los que se enuncia a continuación:

- La contaminación del agua aguas arriba de las captaciones industriales, por vertimientos directos de desperdicios de poblaciones o de otras industrias, trae consigo el aumento en costos de tratamiento del agua para procesos.
- La medición inapropiada basada en indicadores no representativos brinda información poco útil del consumo real de agua. Es así como la separación de medición de procesos y la cuantificación del uso por actividad pueden ofrecer información relevante para orientarla hacia estrategias de ahorro y consumo eficiente.
- El consumo de agua en la industria colombiana, a nivel sectorial, no es cuantificado de manera precisa. Los diversos métodos de estimación presentan un sinnúmero de limitaciones que llevan a obtener resultados inciertos y con grandes porcentajes de error. La medición del uso de recursos en las industrias colombianas no se han detectado como una necesidad para aumentar la eficiencia de los procesos.
- La determinación de eficiencias y fallas en un proceso industrial se facilita si los procesos se encuentran divididos en sub-procesos y se conocen con exactitud qué se sucede al interior de cada uno de ellos. De esta manera, las pérdidas de agua ó altos consumos pueden aparecer al analizar por balance de materia los flujos que entran y salen de cada uno de las etapas del proceso

- El reporte de datos de consumo de agua y vertimientos a los cuerpos de agua no ha alcanzado los niveles que en otros países, ante todo por la desconfianza de los industriales a las autoridades ambientales nacionales y el temor a las nuevas iniciativas normativas. Además se tiene el convencimiento de que la gestión ambiental, y dentro de ella la medición, implica costos altos que no van a ser recuperados por ningún medio.
- Las ventajas de reportar datos verídicos y confiables son, ante todo, la capacidad de comparación que se genera entre las industrias creando espacios para un mejoramiento continuo en un ambiente sano de competitividad. Además, permite el manejo adecuado de datos estadísticos que se orienten al soporte técnico de programas y políticas ambientales por parte del gobierno.
- Soluciones prácticas de poco costo para el manejo más adecuado del agua son rechazadas por diversas razones, entre ellas la falta de conciencia ambiental en la industria. La ausencia de sistemas cerrados de agua en la mayoría de las industrias pequeñas y medianas, por ejemplo, conllevan la pérdida de oportunidades importantes de reciclaje y ahorro. Similarmente, el agua condensada de sistemas de generación de vapor puede ser reutilizada, aprovechando de paso el potencial energético que esta contiene.
- La falta de actualización de la información de redes hidráulicas y sanitarias internas de la empresa conduce a planeación deficiente y a usos equivocados en el manejo del agua. Por ejemplo, el agua purificada para generación de vapor, puede llegar a ser utilizada en riego de jardines debido a conexiones erróneas y a desconocimiento de su trascendencia en costos.

1.2 Marco Normativo Colombiano para el Uso Eficiente y Ahorro de Agua

Con la finalidad de generar acciones que permitan la conservación y manejo integral del recurso hídrico, en especial lo referido al uso eficiente del agua, el Congreso de la República emitió la Ley 373 de 1997, por la cual se establece el Programa de Uso Eficiente y Ahorro del Agua, como instrumento de planificación, encaminados a garantizar una cantidad y calidad de agua suficiente que permita avanzar en la sostenibilidad del recurso hídrico.

La Ley 373 del 06 de Junio 1997 consta de dos Decretos reglamentarios de la misma: el Decreto 3102 del 30 de Diciembre de 1997, por el cual se reglamenta el artículo 15 de la Ley 373 de 1997

en relación a la instalación de equipos, sistemas e implementos de bajo consumo de agua, y el Decreto 1311 de Julio 13 de 1998, por el cual se reglamenta el literal g) del artículo 11 de la Ley 373 de 1997 que establece la obligación, a cargo de todas las entidades usuarias del recurso hídrico, de suministrar información relacionada con el caudal consumido por los usuarios del sistema.

Esta Ley se constituye como una extensión del marco regulatorio planteado por la Ley 99 de 1993 *"Ley del Medio Ambiente*" y la Ley 142 de 1994, por la cual se establece el régimen de los servicios públicos domiciliarios. Por otro lado, en cuanto a la aplicación de la Ley 373, la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico mediante la Resolución CRA 440 de 2008 establece las excepciones a las metas de cobertura en la macro y micromedición, y mediante Resolución No. CRA 150 de 2001 establece los consumos básicos y máximos de conformidad con lo establecido en esta Ley.

Según lo especifica el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2011), la Ley 373 de 1997 se expidió con un claro objetivo ambiental con el propósito de dar lineamientos para el uso racional del recurso hídrico y promocionar una serie de actividades por parte de los usuarios del agua, entre ellos las personas prestadoras del servicio público de acueducto.
Una de las justificaciones de esta norma es contribuir al cambio de la actual cultura hacia el agua que existe en el país, trabajando en la preservación de este recurso natural de vital importancia para el medio ambiente del planeta. Por tanto los objetivos planteados en el contenido de la Ley 373 de 1997, son los siguientes:

- Promover el uso racional y eficiente del agua con el fin de optimizar la gestión del sector de agua potable y saneamiento básico
- Disminuir la presión sobre el recurso en la utilización para el abastecimiento de la población.

La Ley 373 de 1997 en sus artículos 7º y 8, establecen, entre otros aspectos que corresponde a las Autoridades Ambientales establecer consumos básicos en función de los usos del agua y desincentivar los consumos máximos de cada usuario, así como también definir los mecanismos que incentiven el uso eficiente y ahorro de agua y desestimulen su uso ineficiente.

En este sentido, para la SDA es indispensable contar con herramientas adecuadas para la administración de los recursos naturales, por este motivo es importante adelantar proyectos de investigación que permitan determinar el consumo de agua en diversos procesos industriales. Estos módulos de consumo pretenden darle a los usuarios y a la SDA, las bases para conocer la demanda de agua con el fin de impulsar el uso eficiente y racional del agua en los procesos productivos.

1.3 Industria de Alimentos en Bogotá

Los productos alimenticios aportan alrededor del 27% de plusvalía industrial, convirtiéndose en el sector que más contribuye al valor agregado manufacturero, ocupando, dentro del mismo, el primer lugar de importancia en los principales indicadores económicos [16]. En el Distrito Capital, este sector comprende básicamente industrias procesadoras de productos lácteos y sus derivados, industria de procesamiento de frutas y vegetales, establecimientos de sacrificio, procesamiento distribución y comercialización.

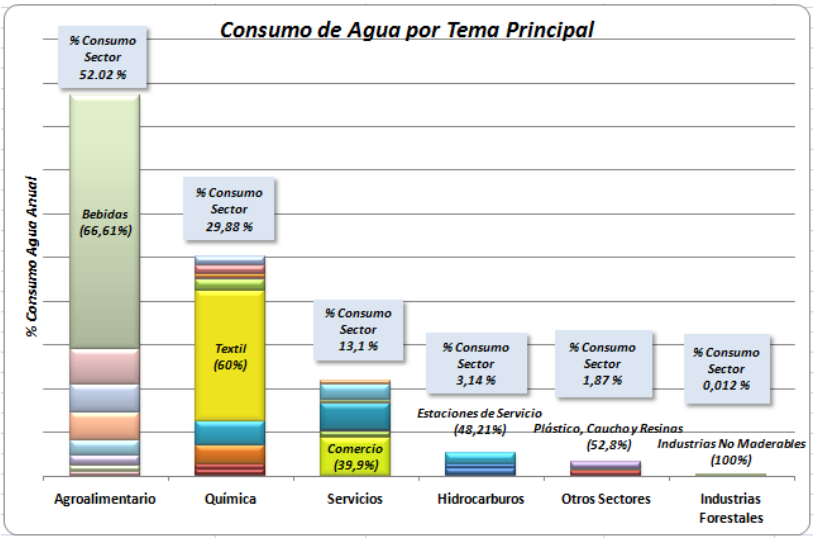
El sector de alimentos se constituye como uno de los más variados del mercado, debido a las formas y técnicas de producción, además de la cantidad de productos y subsectores en los cuales se clasifican, así como el gran impacto en el tema hídrico tanto en consumo de agua como las altas cargas contaminantes de sus efluentes.

Los vertimientos líquidos de estas industrias, especialmente lácteos y cárnicos tienen un alto contenido de materia orgánica (DBO5, DQO), sólidos suspendidos, disueltos, sedimentables, grasas y aceites, y sustancias químicas para limpieza y desinfección con contenido de tensoactivos [17]

La SDA a través de la consolidación de información reportada en las actividades de evaluación, control y seguimiento de usuarios que utilizan el recurso hídrico en el Distrito, ha encontrado que el sector agroalimentario es el mayor consumidor de agua, principalmente en la producción de bebidas, seguido por el sector de química; con la actividad textil como más impactante y en tercer

lugar el sector de comercio en cabeza de actividades propias como el funcionamiento de centros comerciales como se muestra en la Figura 1-6.

Figura 1-6. Usos del agua de los sectores productivos controlados por SRHS 2009 [18]



En este sentido, la SDA ha priorizado dentro de los sectores de mayor impacto por su alto consumo de agua al sector agroalimentario, que lo conforman en su mayoría los subsectores de bebidas, productos lácteos, confiterías, pasta y harinas, cárnicos y subproductos, aceites y grasas, de acuerdo con la clasificación de la CCB – CIIU.

Dada la importancia del subsector de cárnicos por su nivel de producción y su alto consumo de agua dentro de los procesos de producción, para garantizar la calidad de los productos obtenidos, éste se seleccionó para el desarrollo del presente proyecto.

1.3.1 Sector Cárnico

En la última década, la estructura de productos cárnicos, ha cambiado sustancialmente, con un desplazamiento de las carnes rojas hacia las carnes blancas (especialmente aves) y productos cárnicos procesados. La tendencia a la baja en la producción de carne de res tiene varias causas: en primer lugar, el estado de la disminución de la carne y su importancia nutricional, junto con la disminución en la confianza pública en la carne debido a los escándalos de alimentos se han

acelerado las tendencias actuales hacia lo que se percibe como una carne más saludable: las aves de corral [19].

Otra causa de la caída es un efecto secundario del sistema de cuotas establecido por la Unión Europea. Dado que la producción de carne se basa en su mayor parte en la industria láctea, la disminución en el ganado y el aumento de la eficiencia de leche por vaca, lo que permite a los agricultores para cubrir sus cuotas lecheras con menos vacas, se ha traducido menor disponibilidad de ganado para sacrificio [19]. Contrariamente a la evolución observada de la producción de carne, y a pesar de los escándalos alimentarios, la producción avícola y de carne de cerdo ha aumentado en la última década

- ***Carnes Blancas - Avícola***

El subsector de sacrificio de aves genera un gran impacto sobre la calidad de las aguas, por sus grandes aportes de carga orgánica, sólidos suspendidos y sedimentables, y desechos sólidos en los vertimientos, y que en la gran mayoría de las empresas de este sector no son tratados adecuadamente y no cuentan con sistemas de ahorro eficientes que permitan un disminución del agua utilizada en el proceso productivo.

En el ámbito nacional, Cundinamarca es el departamento que más plantas de beneficio de aves tiene, 29 en total; le siguen Valle del Cauca y Santander, que son zonas productoras de pollo de engorde por excelencia, como se presenta en la Tabla 1-4. Sin embargo, sólo en el perímetro de la capital se encuentran alrededor de doce plantas ubicadas en las zonas industriales, como el barrio El Ricaurte y en las entradas de la ciudad como la Autopista Sur y la Calle 13 [20].

Tabla 1-4. Distribución de las plantas de beneficio de pollo [21]

Departamento	Planta de Beneficio	Plantas de Desprese
Cundinamarca	29	36
Valle	26	11
Nariño	21	10
Huila	20	8
Santander	15	5
Meta	10	3

Departamento	Planta de Beneficio	Plantas de Desprese
Tolima	10	3
Antioquia	5	2
Quindío	5	2
Demás departamentos	22	8

Descripción del Proceso Industrial

El beneficio de aves comprende nueva etapas de proceso genéricas como se muestra en la Figura 1-7.

Figura 1-7. Proceso productivo del Beneficio de aves

A continuación se describen de manera detallada cada una de estas etapas. [22-24]

Aturdimiento y sacrificio: Suspendidas de ganchos – soporte, las aves pasan de la zona de descarga a la zona de aturdimiento, en la que se les conmociona eléctricamente y se les secciona el

cuello con un cuchillo. El corte se hace usualmente en la unión del cuello a la cabeza sin afectar la tráquea o el esófago.

Desangre: Si las aves se aturden adecuadamente pero no se desangran bien pueden recuperarse y estar vivas al entrar al tanque de escaldado, entonces el animal permanece colgado durante un período aproximado de cinco minutos sobre un canal colector de sangre en el que aproximadamente se recoge la mitad de la sangre total de las aves. La sangre se almacena en canecas para ser enviada posteriormente a los sitios de procesamiento.

Escaldado: Las aves se introducen en un baño de agua caliente a una temperatura entre 50 y 80 ºC durante un período que oscila entre 1 y 3 minutos, con el objeto de eliminar bacterias y facilitar la remoción de plumas.

Desplume: Las plumas se eliminan con la ayuda de máquinas desplumadoras que consisten en unos cilindros que giran rápidamente y en los cuales hay una gran cantidad de dedos, lengüetas o manguitos de goma que son los que quitan las plumas a la canal.

Corte de pico, uñas y patas: Después de inspeccionar que el animal ha quedado bien desplumado, se procede al corte de patas, picos y uñas pasando luego por un lavado con agua.

Evisceración: La evisceración consiste en eliminar del ave la mayor parte de los órganos contenidos en su cavidad; también se eliminan la cabeza, el cuello y los tejidos asociados. El animal se cuelga en una segunda cadena de ganchos, dónde se empieza por hacer unos cortes en la región abdominal alrededor de la abertura cloacal y con una pistola neumática se extraen las vísceras. Las partes comestibles que se quitan durante la evisceración se transportan hasta la zona de procesado de menudencias.

Procesado de menudillos: Las menudencias: corazones, hígados, mollejas, etc., inicialmente se lavan al extraerlas del ave en la zona de evisceración; posteriormente se les realiza un lavado adicional con una mezcla de agua y hielo a fin de mantenerlos en condiciones higiénicas y finalmente son empacadas y refrigeradas.

Enfriamiento: Consiste en la disminución de la temperatura del ave, esta operación se realiza mediante inmersión de la canal en tanques provistos de un tornillo sin fin.

Empaque: Finalmente el animal se pesa, se clasifica y se empaca para su almacenamiento, distribución y venta.

Después que la fase de sacrificio se ha completado, en la zona de producción se inicia el proceso de limpieza y desinfección. Las instalaciones y equipos se lavan con agua caliente y detergente a alta presión [25]. En algunas plantas de procesamiento la limpieza de pisos y superficies de trabajos se inicia con un proceso de limpieza en seco antes de lavar con agua [26]

De acuerdo con los resultados obtenidos por Kist et al (2009) el consumo promedio total de agua para el sacrificio de 103.000 pollos/día corresponde a un consumo de agua de 1800 m3/día, del cual el 82 % concierne a la recepción, sacrificio y desangrado, el 1.3 % a escaldado y el 16.7 debido a pre-chiller y chiller (Tabla 1-1). Según Environmental Technology Best Practice Programme (2000), el consumo específico de agua puede estar entre 8 y 15 L/ave, valor inferior al encontrado por Kist et al (2009) en su estudio, indicando una variabilidad de consumo de agua, que pueden ser debido a tecnologías diferentes en los procesos de producción y limpieza. [27]

Tabla 1-5 Uso de agua en el beneficio de pollo [28]

Proceso	**Flujo m^3/día**	**Porcentaje**
Recepción/Sacrificio/Desangrado	1466	81%
Escaldado	24	1.3%
Pre-chiller y Chiller	300	16.7%

En la industria alimentaria, la práctica de la reutilización del agua es más difícil, debido a que se debe garantizar la inocuidad y calidad microbiológica de los productos que en ellas se obtienen. No obstante en Brasil está permitido que en la industria de alimentos se utilice agua reciclada en las etapas de proceso, siempre y cuando se certifique su calidad microbiológica. [29]. El Codex Alimentarius Commission (FAO/OMS) permite estas prácticas de reutilización si se garantiza su potabilidad y por ende puede ser empleada para contacto directo con los alimentos y/o ser incorporada al producto final.

En las plantas de sacrificio de aves, su efluente puede ser tratada y reutilizada como agua de refrigeración, en los procesos de escaldado y/o en el transporte de las vísceras y las plumas en los canales de flujo [29].

La conservación y reutilización del agua son herramientas muy importantes para minimizar los problemas de escasez de agua en las zonas urbanas e industriales. La comprensión completa de todos los procesos existentes en una industria es un importante paso para diseñar la reducción del consumo de agua, tales como cambios en los procedimientos operacionales y un control efectivo de las actividades de uso del agua.

- ***Productos Cárnicos Procesados***

En Bogotá el subsector de empresas procesadoras de alimentos cárnicos o embutidos se concentra en la Localidad de Kennedy, principalmente el Barrio Carvajal y en la localidad Rafael Uribe [30] Dentro de los productos más comercializados en esta categoría se destaca embutidos crudos, escaldados y cocidos, y productos cárnicos enlatados.

Embutidos crudos: Se denominan así los productos que no son sometidos a tratamiento térmico. Pueden consumirse en estado fresco o cocinado, después de una maduración. Las etapas del proceso son las siguientes: recepción de la materia prima e insumos, refrigeración, troceado, pesado, molido, mezclado, amasado, embutido, atado, desecado, maduración y empaque

Embutidos cocidos: Se denominan así a los productos que son sometidos a un tratamiento térmico antes de ser sazonadas, trituradas y embutidas. Esta clase de embutidos se fabrican a partir de carne y grasa de porcino, vísceras, sangre, corteza y tendones. Algunos ejemplos de estos productos son: salchichas, cábano, morcilla, paté de hígado, queso de cabeza, entre otros. La elaboración de los embutidos cocidos incluye las siguientes etapas: recepción de la materia prima, refrigeración, preparado de la materia prima, cocción preliminar, picado, mezclado, embutido, cocción del embutido, enfriado, escurrido, secado, empacado y almacenado

Embutidos escaldados: Los embutidos escaldados se elaboran a partir de carne fresca, no completamente madurada. Éste proceso de calor se aplica con el fin de disminuir el contenido de microorganismos, de favorecer la conservación y de coagular las proteínas, de manera que se forme una masa consistente. El proceso productivo de elaboración de productos escaldados está conformado por las siguientes etapas: recepción de materia prima, troceado y curación preliminar, molido y/o picado, mezclado, embutido, atado, escaldado, cocción, ahumado, enfriado y secado.
Productos cárnicos enlatados: El producto cárnico elaborado puede envasarse en forma sólida o con un líquido de cobertura. Después del cierre hermético, el envase se somete a esterilización o pasteurización. El objetivo de éste proceso es asegurar y prolongar la conservación del alimento. El proceso de elaboración de productos cárnicos enlatados está conformado por las siguientes etapas: recepción de la materia prima, preparado y pesado de la carne, cocción, embutido, pre-esterilizado, tapado y cerrado de los envases, esterilización, enfriamiento, secado, etiquetado y empacado.

El nivel tecnológico en relación con equipos y maquinaria para la producción de éstos productos varían de una empresa a otra, encontrando que no hay un proceso estándar. A continuación se hace una descripción genérica de las etapas del proceso para la elaboración de productos elaborados.

Transformación primaria: Esta etapa comprende las actividades fundamentales del proceso:

- Troceado: eliminar las partes extrañas, como huesos, tendones y cartílagos, y la carne es troceada en fragmentos.
- Curado: la conservación de la carne, mediante la adición de sustancias curantes, como la sal.
- Molienda: el proceso de molienda de la carne y la grasa seleccionadas se realiza con un molino provisto de discos y cuchillas que permiten la obtención de carne y grasa de diferentes diámetros.
- Mezclado: consiste en agregar las sustancias curantes, las especias y los condimentos a la carne hasta obtener una masa uniforme.
- Amasado: se amasa la pasta para reducir el volumen y la cantidad de aire.
- Embutido: proceso por el cual se introduce la pasta en las tripas sintéticas ó naturales. Puede hacerse manual o mecánicamente en máquinas embutidoras.

- Atado: con el fin de evitar la disminución de la presión en el interior del embutido, las tripas rellenas se atan de inmediato.

Transformación secundaria: La transformación secundaria comprende las etapas que dan las características específicas al producto, es decir, que dependiendo de la actividad que se realice el producto final será un embutido crudo, cocido, escaldado o enlatado.

- Desecación: proceso en el cual se elimina parte del agua de los tejidos, hasta llegar a condiciones en las cuales los microorganismos no puedan desarrollarse, se puede emplear el calor natural al aire libre, o calor artificial por aire caliente forzado.
- Madurado: existen dos clases de maduración natural y rápida. La primera consiste en realizar el desecado, la maduración, el ahumado y el almacenamiento en condiciones ambientales. Por el contrario el proceso rápido consiste en realizar dichos procesos en condiciones de temperatura, humedad y ventilación artificiales.

  Como sustancia curante, se utiliza el nitrato en el proceso de maduración natural y sal curante con nitrito, para la maduración rápida.
- Ahumado: consiste en tratar con humo la carne curada, desecada o salada. El humo tiene sustancias que ejercen una acción antibacteriana y que proporcionan un color, olor y sabor característico del producto.

  El humo es generado por la combustión incompleta de distintas clases de madera dura, como roble, olmo y maderas aromáticas.
- Escaldado: consiste en introducir las piezas en agua caliente, durante un tiempo corto, con el fin de modificar la coloración de la sangre y de coagular las proteínas de las capas externas.

Empaque y almacenaje final:

- Esterilización: método por el cual los microorganismos son destruidos por calor. Después de la esterilización, el producto no puede estar en contacto con el ambiente para evitar ser contaminados de nuevo. Por esto se aplica la esterilización solamente a productos encerrados en envases herméticos.
- Envasado: el envase debe proteger el producto contra la contaminación externa posterior a la esterilización.
- Enfriamiento: consiste en enfriar el producto elaborado con agua fría o hielo picado.

1.4 Módulos de Consumo

Los Módulos de Consumo se definen como la cantidad de agua que se requiere para el desarrollo de una actividad o la obtención de un producto. Este índice permite determinar los caudales o volúmenes de aguas subterráneas ó superficiales que se asignan a personas naturales ó jurídicas para el desarrollo de sus actividades domésticas, agropecuarias, industriales, comerciales o de otro tipo. Así mismo, sirve como criterio para determinar potenciales de ahorro y uso eficiente del recurso [31].

La demanda de agua para uso industrial se define como la cantidad de agua requerida por los procesos industriales de cada uno de los diferentes sectores de la industria manufacturera y de la construcción. El cálculo de la demanda para uso industrial se realiza multiplicando el volumen de las toneladas de producción, por un factor de consumo expresado en m^3 de agua utilizada para producir una tonelada de cada tipo de productos, como lo indica la siguiente expresión [8]:

$$D = \sum_{i=1}^{n} Vp_i \times Fc_{ji}$$

Donde Vp_i, *es* volumen de producción, Fc_{ij} el factor de consumo de agua por tipo de producto y *D*, la demanda.

En el país se han venido desarrollando estudios para estimar los módulos de consumo de agua de algunos sectores productivos, siendo el sector agrícola donde se han concentrado estas estimaciones, debido a que éste es prioritario, por ser el de mayor demanda de agua para la mayoría de las corporaciones autónomas regionales. Por este motivo para el sector industrial son escasos los estudios desarrollados.

A continuación se presentan las metodologías desarrolladas para el sector industrial y los módulos de consumo calculados.

- ***Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca***

En este estudio se realizó un análisis del sector industrial teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el estudio desarrollado por la Cámara de Comercio de Bogotá, en el cual se presenta el caudal del agua residual y la producción mensual de la empresa. Con base en ésta información se calcularon los módulos de consumo para diferentes sectores industriales, y luego fueron comparados con índices de consumo reportados en la literatura, y con base en esta información se determinó un rango de consumo de agua para cada uno de los sectores del estudio [32]. En la Tabla 1-6 se muestran algunos de los resultados obtenidos en este estudio

Tabla 1-6. Índices de consumo para sectores industriales establecidos por la CAR [32]

Sector industrial	Módulo de consumo
Sacrificio de ganado, preparación y conservación de carnes	5000 litros/Tonelada de animal vivo
Destilación, rectificación y mezcla de bebidas alcohólicas	Industria vitivinícola: 10000 litros/m^3 de vino Industria cervecera: 6000 litros/m^3 de cerveza
Industria de bebidas no alcohólicas	5000 Litros/m^3 de bebida
Fabricación de lácteos	Estación de recolección: 1500 L/Tonelada de leche: Producción de leche pasteurizada:: 2000 L/ Tonelada de leche Producción de queso: 15000 L/Tonelada: Producción de mantequilla: 20000 L/Tonelada

- ***Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia***

Realizaron una recopilación de información en relación con la demanda, planes de manejo, estudios sobre riego, aguas subterráneas, expedientes de concesiones y cualquier otra información referente al recurso hídrico para cada uno de los municipios de la Jurisdicción de CORANTIOQUIA.

Con la información recopilada de índices de consumo, se determinaron los sectores a evaluar priorizando de actividades por importancia y requerimientos de agua, así como la determinación de la muestra de empresas a visitar. Con base en la información recopilada en las visitas se calculó los índices de consumo. En la Tabla 1-7 se presentan parte de los resultados obtenidos en éste estudio.

Tabla 1-7. Índices de consumo para sectores industriales establecidos en CORANTIOQUIA [33]

Sector industrial	Índice de consumo (m^3/Ton)
Producción de harina de trigo y maíz	3,7
Producción de galletería, panadería y similares	1,6
Producción de bocadillos y repostería en general	43
Curtiembre	41
Producción de artículos de caucho	0,6
Fundición de metales ferrosos y no ferrosos	24,3
Galvanotecnia	6,4
Producción carnes frías y embutidos	5,2
Producción de hojalata y lámina cromada	1,6
Fabricación de productos químicos	2.5
Fabricación de telas	315
Tintorería y lavado de telas	120

- ***Área Metropolitana del Valle de Aburrá***

La metodología desarrollada por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá se resume en Tabla 1-8

Tabla 1-8. Metodología desarrollada por AMVA [31]

Fases	Actividad
Identificación del proceso	Recopilar información secundaria y/o primaria sobre el proceso Elaborar diagrama de flujo y balance de agua Identificar las variables que influyen en el uso del agua
Planeación	Seleccionar la etapa ó proceso a medir Identificar el Método de medición apropiado
Medición y toma de muestras	Medición de caudal ó volumen de agua Medición de la producción Determinar la técnica de muestreo Realizar la toma de muestra
Calculo de módulos de consumo	Digitar la información obtenida Determinación del módulo de consumo
Seguimiento y verificación	Programar la periodicidad y la cantidad de futuras mediciones Recalcular los módulos de consumo

En la Tabla 1-9 se presentan parte de los resultados obtenidos en éste estudio.

Tabla 1-9. Índices de consumo para algunos sectores industriales [31]

Sector industrial	Proceso o actividad	Unidad	Módulo de consumo promedio	Consumo optimo
Fabricación de refrescos	Lavado y/o desinfección de equipos de producción	L/maquina	63,47	40,3
	Lavado de desinfección de fruta	L/kg	1,2	0,86
	Lavado de recipientes	L/recipiente	1,13	
Curtiembres	Pelambre etapa inicial	L/kg	6,2	5,6
	Pelambre segunda etapa	L/kg	5,2	3,7
	Curtido	L/kg	14,1	3,6
	Teñido	L/kg	8,6	4,4
Teñido de telas	Blanqueo	L/kg	24,7	15,8
	Con colorantes directos	L/kg	43,02	28,6
	Con colorantes reactivos	L/kg	74,72	58,2
Lavanderías y tintorerías	Desengome	L/kg	31,9	22,9
	Neutralizado	L/kg	28,9	20,7
	Teñido	L/kg	133,8	44
	Tenido DIRTY	L/kg	38,4	24,2

Conclusión.

En términos generales las metodologías consultadas emplean el uso de información primaria como visitas técnicas a los establecimientos de los sectores involucrados en el estudio, e información secundaria como la revisión de expedientes y estudios previos relacionados con la demanda del recurso hídrico. A través de estas metodologías no se han desarrollado modelos matemáticos que involucren cada una de las etapas de los procesos de manera independiente para la estimación del módulo de consumo de agua global en función de variables que influyen en el nivel consumo de agua. Por tanto el desarrollo de una línea metodológica que permita modelar el consumo de agua, analizar el fenómeno y establecer conclusiones se considera útil. Luego debe contrastarse con la situación real, ya que las conclusiones e interpretaciones basadas en el modelo deben ofrecer soluciones, explicaciones y probablemente pronósticos del comportamiento del consumo de agua a través del proceso productivo.

Este tipo de herramientas facilitaran a la Autoridad Ambiental dar cumplimiento a los establecido en los artículos 7° y 8° de la Ley 373 de 2007, estableciendo consumos básicos en función de los usos del agua y de esta manera poder ejercer las funciones de evaluación, control y seguimiento ambiental de los usos de agua, desincentivando los consumos máximos de cada usuario, al mismo tiempo que se definen los mecanismos que incentiven el uso eficiente y ahorro.

Capítulo 2 Metodología

En este capítulo se describe la metodología empleada en el desarrollo del trabajo, la cual incluye las siguientes etapas: recopilación de información secundaria, elaboración de matriz de priorización, diseño de la encuesta a emplear para la recopilación de la información primaria, selección de la muestra de empresas a visitar, análisis estadístico y metodología para la estimación del Módulo de Consumo de agua.

2.1 Recopilación de Información Secundaria

Para la recopilación de la información secundaria sobre módulos de consumo se realizó una revisión de artículos y estudios desarrollados por autoridades ambientales sobre cálculos de módulos de consumo de agua en sectores industriales, con el fin de conocer las metodologías desarrolladas. También se realizaron reuniones con la Autoridad Ambiental de Medellín - Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA) y el grupo de Investigaciones Ambientales de la Universidad Pontificia Bolivariana (Sede Medellín) para conocer la experiencia en el desarrollo del proyecto "Determinación de los módulos de consumo de agua y los factores de vertimientos para los sectores industrial y de servicios con sobretasa ambiental". Con base en la información recopilada se desarrolló la metodología para abordar el presente estudio, la cual se presenta más adelante.

Para realizar la consolidación de la información secundaria del sector agroalimentario y del subsector priorizado se realizó la revisión de las bases de datos y los expedientes de las empresas que la SDA tiene identificadas por generación de vertimientos. También se efectúo una revisión de los conceptos generados por la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo (SRHS) en el año 2010 para el subsector en estudio.

De la información levantada en la SDA, se generó una base de datos para consolidar los consumos de agua del subsector agroalimentario abastecido por el acueducto, pozo de aguas subterráneas y/o aguas lluvias. Así mismo se incluyó algunas variables tamaño de empresa, cumplimiento ambiental en vertimientos, entre otras con el fin de conocer el estado del subsector respecto a los temas ambientales.

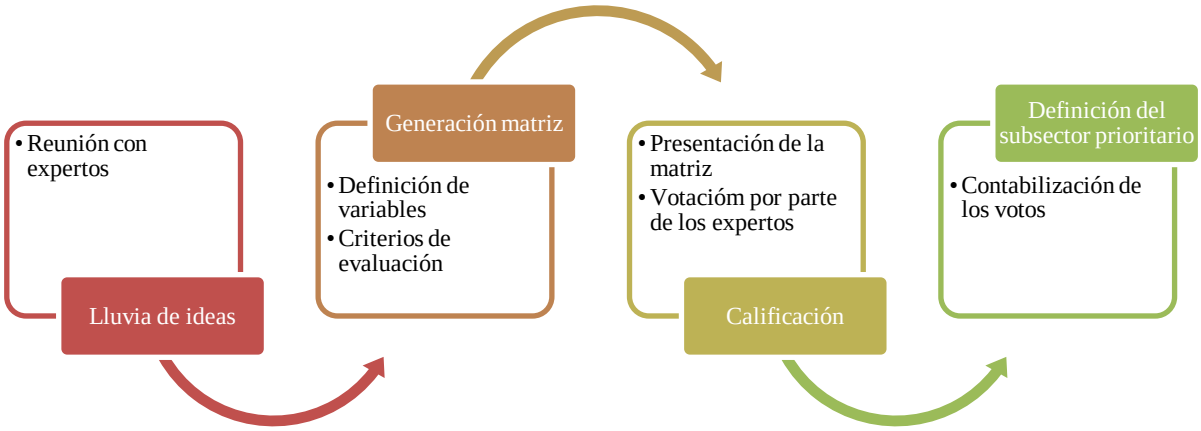
2.2 Matriz de Priorización

El análisis de tendencias de las funciones ambientales y su relación con las variables de interés son elementos necesarios para identificar el subsector de estudio para el Distrito Capital, sin embargo se hace necesario analizar con un mayor grado de detalle todas estas relaciones a fin de priorizar y determinar con exactitud el subsector preferente.

Con la información consolidada se desarrolló una Matriz de Priorización, técnica muy útil para obtener un consenso sobre un tema específico. Con el previo análisis cuantitativo y cualitativo de las variables definidas tanto ambientales, de gestión y económicas se identificaron los subsectores prioritarios que necesitan el desarrollo del estudio de la demanda de consumo de agua. Para el desarrollo de la matriz los expertos realizaron una lluvia de ideas con el fin de establecer cuáles son las variables posibles de evaluar con base en la información disponible y la experticia en el sector.

La definición de los descriptores de evaluación se desarrolló sin el apoyo de los expertos para evitar sesgo en el momento de la evaluación. Con las calificaciones dadas a cada una de las variables se suman aritméticamente, debido a que cada variable se le dio el mismo peso. El resumen de la metodología desarrollada se presenta en la Figura 2-1

Figura 2-1. Resumen Metodología desarrollada para estructuración de matriz de priorización



La información requerida para la matriz de priorización utilizó las bases de datos de la SDA del 2008 al 2010, con el fin de tener una muestra más amplia y poder conocer de manera global el comportamiento del subsector.

2.3 Diseño de Encuesta

La encuesta desarrollada hace preguntas que permiten evaluar las industrias en relación en: conocer el estado de las empresas visitadas del subsector prioritario determinado, el proceso productivo, los sistemas de ahorro de agua, los consumos de agua, los mecanismos de gestión que han desarrollado con la estrategia de disminución del consumo de agua en el proceso productivo y las fuentes alternativas de suministro de agua (Ver Anexo A).

2.4 Selección de la Muestra de Empresas a Visitar

Para la selección de la muestra de las empresas a visitar se asumió como población las empresas identificadas por la SDA en el año 2010 en las visitas de seguimiento, control y vigilancia desarrolladas por la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo. Se utilizó la prueba de T.-STUDENT, donde se asume que la población esta normalmente distribuida. El tamaño de la

muestra se calcula utilizando la ecuación 1, con un nivel de confianza del 95% (1.96), grado de error de 0.05, una probabilidad de ocurrencia y de no ocurrencia del 0.5.

$$n = \frac{(Z^2 pqN)}{(Ne^2 + Z^2 pq)}$$

Donde:

n es la muestra;
N es la población
Z es el nivel de confianza
p es la probabilidad de ocurrencia
e es el grado de error
q es la probabilidad de no ocurrencia

2.5 Análisis Estadísticos

2.5.1 Análisis de varianza

Se recopilaron 12 datos por empresa en relación al consumo de agua y el nivel de producción. Los datos se analizaron mediante un análisis de la varianza – ANOVA con un nivel de confianza del 95%, y una prueba de diferencia de medias Tukey's empleando el software de Minitab® versión 16.

2.5.2 Criterio de Chaveen,

Método estadístico para calcular si un dato experimental, de un conjunto de datos experimentales, es probable que sea un valor atípico. El Criterio de Chauvenet se determina calculando la media y la desviación estándar (típica) de la información observada. Basándose en cuánto difiere el valor dudoso de la media, se utiliza la función de distribución normal para determinar la probabilidad de que un dato dado sea del valor del dato dudoso, para cada dato se calcula la diferencia entre el valor y la media, y si este resultado es mayor a 2 veces la desviación estándar, el dato dudoso y se puede descartar. Sin embargo además de este criterio, se revisó la veracidad de la información y determinó si era viable descartar el dato o no.

2.5.3 Coeficiente de correlación de Pearson

Es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas. A diferencia de la covarianza, la correlación de Pearson es independiente de la escala de medida de las variables. El coeficiente de correlación de Pearson está definido por la siguiente expresión:

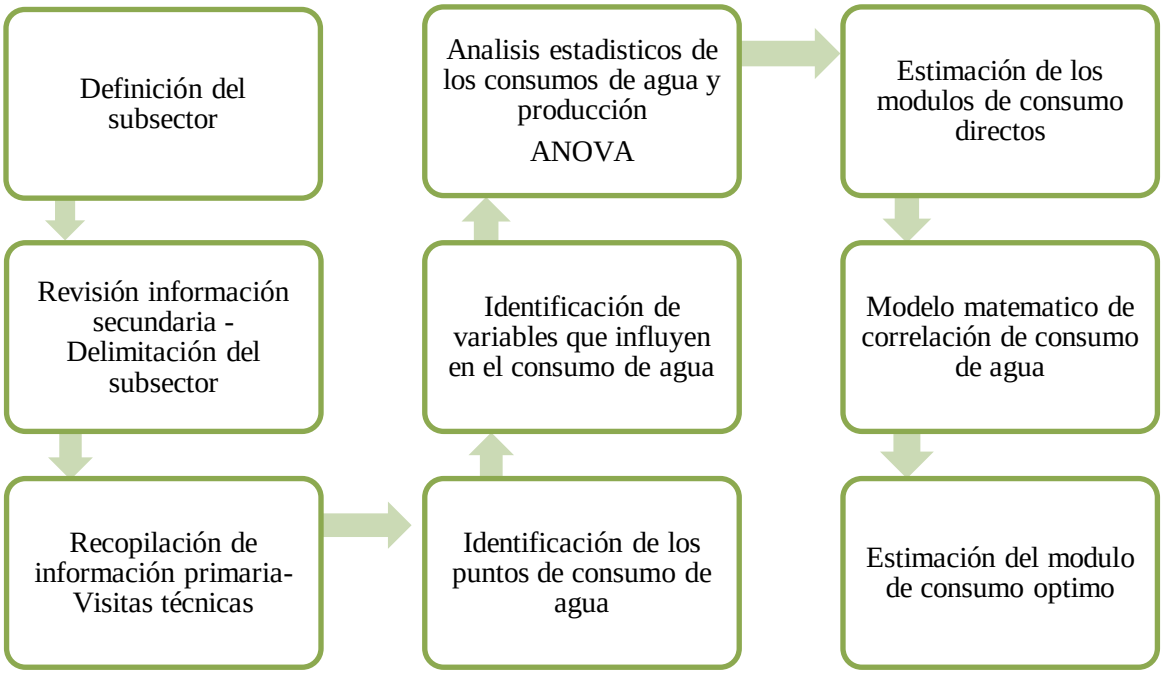
$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x \, Z_y}{N}$$

Este coeficiente presenta valores entre 1 y -1, en el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa. Luego se debe determinar el nivel de significancia, a través de una ensayo de probabilidad mediante una prueba de t-student, donde valores de $p<0.05$, indican que las variables están correlacionadas. Los datos se analizaron empleando el software de Minitab® versión 16.

2.6 Metodología estimación módulo de consumo

Para realizar la estimación del módulo de consumo de agua se utilizó las siguientes fases que se presenta en la Figura 2-2:

Figura 2-2. Resumen de la Metodología desarrollada para la estimación de los módulos de consumo



Fuente: Autor, 2011

Capítulo 3 Resultados y Análisis

En este capítulo se presentan los resultados y el análisis del desarrollo del trabajo, iniciando por la selección del subsector piloto y la identificación de las variables de consumo de agua de éste. Luego se presenta el análisis de la relación entre producción y consumo de agua y por último se muestra el cálculo de los módulos de consumo de agua del subsector en estudio.

3.1 Selección del Subsector

El sector agroalimentario, dada su naturaleza y las normas de higiene aplicables, debe utilizar agua de calidad potable, por lo general, el consumo de agua de la industria agroalimentaria es elevado aunque varía considerablemente de un sector a otro, siendo relativamente bajo para la molinería, panadería, confitería y chocolatería; y de utilización más intensiva para el cárnico, cervecero y lácteo (CCEI, 1998)

Por lo anterior, para la selección del subsector a estudiar, uno de los criterios fue la distribución de los índices de consumo de agua, los cuales se calcularon con la información disponible en las bases de datos de la SDA, que reportan nueve subsectores como son: aceites y grasas, bebidas, cárnicos y subproductos, confiterías, congelados y precocidos, pasta y harinas, productos lácteos alimenticios y otros productos alimenticios. Los datos reportados corresponden al consumo del agua promedio consumido (facturado, uso de aguas subterráneas y aprovechamiento de aguas lluvias) y las toneladas promedio de productos elaborados.

Para la determinación de la distribución de los índices de consumo de los 9 subsectores del sector agroalimentario (Ver Anexo B), se elaboraron los diagramas de frecuencia de los índices de

consumo con base en el promedio y desviación estándar asumiendo una distribución normal, empleando en el programa Minitab® version16. En la Tabla 3-1 se presenta el consolidado de los resultados de la media y desviación estándar de los subsectores evaluados y en la Figura 10 los histogramas mencionados.

Tabla 3-1 Índices de consumo del sector agroalimentario en Bogotá

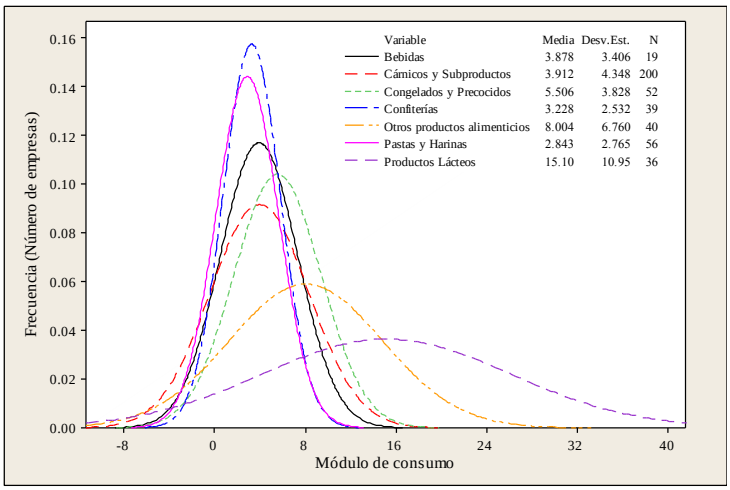
Subsector	**Índice promedio de agua m^3/Ton**
Aceites y Grasas	1.98 ± 0.48
Pastas y Harinas	2.84 ±2.76
Bebidas	3.08 ± 3.40
Confiterías	3.22 ±2.53
Cárnicos y Subproductos	3.91 ± 4.38
Congelados y Precocidos	5.50 ±3.82
Otros productos alimenticios	8.00 ±6.76
Productos Lácteos	15.10 ±10.95

Los resultados se reportan como promedio ± desviación estándar

De acuerdo con el análisis estadístico realizado a los índices de consumo del sector agroalimentario, se encontró que el sector que tiene menos variabilidad en el consumo de agua es el sector aceites y grasas, esto es debido que este proceso se encuentran en su gran mayoría estandarizados y son comparables los consumos de agua. El sector de mayor variabilidad de consumo de agua es el sector de productos lácteos, debido que hay una extensa variedad de procesos en este subsector, como pasterización de leche, elaboración de quesos, yogurt, bebidas lácteas, por lo cual no es tan comparable los consumos de agua de manera global.

En la Figura 3-1 se muestra que los subsectores de mayor consumo de agua por unidad de producto son productos lácteos y productos congelados y precocidos, debido a que la cantidad de agua que es utilizada en la limpieza de las áreas de proceso. Otro de los subsectores de alto consumo es el subsector de cárnicos y subproductos, por la naturaleza del proceso productivo y los programas de limpieza y desinfección.

Figura 3-1. Distribuciones índices de consumo para el sector agroalimentario para Bogotá D.C.



Con el apoyo de un panel de expertos de la SDA - Subdirección de Recurso Hídrico y del Suelo – (9 profesionales de apoyo), se desarrolló una matriz de priorización. Para su desarrollo se tuvo en cuenta la experticia y la información disponible del subsector. Para llevar a cabo la evaluación por subsector de cada uno de los aspectos se empleó una escala de 0 a 3, de acuerdo con los descriptores que se presentan en la Tabla 3-2

Tabla 3-2 Descriptores de evaluación

Criterio de evaluación	**Puntaje Subjetivo**			
	0	**1**	**2**	**3**
Índice de consumo de agua (m^3/Ton)	NA	Menor a 5	Entre 5 y 10	Mayor a 10
Numero concesiones de aguas subterráneas	No hay concesión	Menor a 5	Entre 5 y 10	Mayor a 10
Impacto ambiental por los vertimientos generados	No genera vertimientos	Bajo	Medio	Alto
Número de empresas identificadas en la SDA (entre el 2008 – 2010)	NA	Mayor 50	Entre 50 – 100	Mayor a 100
Consideración ambiental – Implementación de programas ambientales	No se evidencia	NA	NA	Se evidencia

En la Tabla 3-3 se presenta la puntuación promedio obtenida de los nueve expertos para los ocho sectores evaluados y en la Tabla 3-4 se muestran los resultados de las sumatorias de los promedios, cabe mencionar que todos los criterios tienen el mismo peso.

Tabla 3-3 Resultados de la evaluación de los subsectores en estudio

SUBSECTOR	**Criterio de evaluación**				
	Índice de consumo	Numero concesiones	Vertimientos	Número de empresas	Consideración ambiental
Aceites y Grasas	1	2	2	1	3
Cárnicos	2	1	3	3	3
Bebidas	1	2	1	2	3
Confiterías	1	0	2	2	1
Congelados y Precocidos	2	0	1	3	1
Otros productos alimenticios	2	0	1	3	1
Pastas y Harinas	2	0	2	3	3
Productos Lácteos	3	0	3	2	3

Tabla 3-4 Resultados total de la evaluación

SUBSECTOR	Puntaje total
Aceites y Grasas	9
Cárnicos y Subproductos	**12**
Bebidas	9
Confiterías	6
Congelados y Precocidos	7
Otros productos alimenticios	7
Pastas y Harinas	10
Productos Lácteos	11

Con base en los resultados obtenidos de las evaluaciones a cada subsector, se determinó que el subsector de cárnicos es el prioritario para la SDA, debido a que genera un gran impacto sobre la calidad de las aguas, por sus grandes aportes de carga orgánica, sólidos suspendidos y sedimentables, y residuos sólidos en los vertimientos, y que en una gran mayoría de las empresas de este sector no son tratados adecuadamente y no cuentan con sistemas eficientes que permitan un ahorro del agua utilizada en el proceso productivo.

3.1.1 Descripción del subsector

En la industria cárnica se distinguen tres tipos de actividades principales: el sacrificio de los animales en mataderos, el despiece y porcionado de las canales en salas de despiece y la elaboración de productos cárnicos en plantas de fabricación (MinAmbiente, 2006). En la descripción de los procesos industriales del sector, éstos se han estructurado de la siguiente forma (CAR/PL, 2006):

- Mataderos y salas de despiece para ganado: Bovino, ovino y caprino, Porcino y Avícola
- Elaboración de productos cárnicos (cocidos y curados) a partir de: Carne de bovino, ovino y caprino, Carne de porcino, Carne de aves

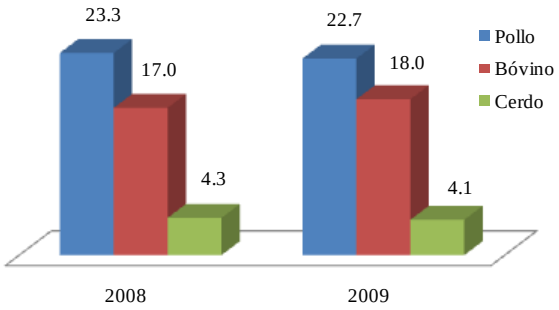
La industria cárnica ha sido el tema de interés dado los volúmenes de residuos producidos y la multiplicidad de actividades que se desprenden de este sector, principalmente en lo referente a vertimientos. Para la secretaria de Salud el control sanitario de los subproductos en las etapas de producción y ventas es muy importante y finalmente lograr una excelente calidad de producto en las pymes es muy difícil por la inadecuada capacitación del personal que labora en estas empresas (DAMA, 2002a).

Durante los últimos cuarenta años el consumo y la producción de carnes, tanto a nivel mundial, como regional, ha venido aumentando. Este crecimiento no es uniforme, siendo la carne de pollo el producto más dinámico tanto en su producción como en su consumo. A comienzos de 1961 la carne de bovino era la más consumida, tanto en Colombia con un porcentaje del 56%, y en resto del mundo con un porcentaje del 46 %, la de cerdo por su parte era la carne con el segundo mayor consumo y producción, que representaba el 41% a nivel mundial y 30% en la región colombiana. Como resultado de las disparidades en el crecimiento entre las distintas clases de carnes, se presentó una recomposición en su producción y consumo, y de acuerdo con los reportes de FENAVI-FONAV (2009) en el 2009 las participaciones han variado un 40.2 % para bovino, 50.7 % para pollo y 9.1 % para cerdo.

En la Figura 3-2 se muestra que en Colombia el consumo per cápita de carnes blancas como la del pollo es superior al consumo de carnes rojas, estos cambios en las preferencias en el consumo de

las personas pueden derivarse de muchos factores entre los cuales se encuentran tanto los económicos, como los no económicos. Entre los primeros podemos mencionar al cambio en el ingreso y los precios de los bienes. De los últimos, los cambios en los gustos, producto de una tendencia hacia un tipo de alimentación más sana, pueden haber incidido en la hora de decidir qué tipo de carne comprar.

Figura 3-2. Consumo Per Cápita Carnes en kg/hab/día (2008-2009) (FENAVI-FONAV, 2011)



Los principales aspectos ambientales e impactos que se generan en el sector cárnico se relacionan con las aguas residuales, los residuos, las emisiones a la atmósfera, el ruido y los altos consumos de agua. Este alto consumo es debido a que el agua se emplea en su mayor parte en las operaciones de limpieza y desinfección de equipos, instalaciones y utensilios de trabajo.

Para el desarrollo del presente trabajo se pretendió trabajar los eslabones del sector cárnicos desde el sacrificio hasta el procesamiento, tanto para carnes rojas como blancas. Sin embargo, durante el desarrollo del proyecto, al recopilar la información primaria mediante las visitas de campo y entrevistas no se contó con el apoyo y colaboración por parte de las empresas de sacrificio de bovinos ubicadas en el Distrito Capital, lo cual implicó excluir de manera concertada con la SDA el estudio de esta actividad. Por tanto este trabajo contempla solo el sector de sacrificio de aves y el procesamiento de productos cárnicos

Para iniciar el estudios de las actividades de sacrificio de aves y de procesamiento de productos cárnicos se realizó la revisión de los expedientes que reposan en la SDA en la temática de vertimientos y los conceptos técnicos emitidos en el año 2010 en el tema de vertimientos, para la población completa, donde se identificó que las empresas cuentan con nivel tecnológico similar,

para el caso de sacrificio de aves, y en la mayoría de las empresas tienen balances hídricos genéricos, donde el proceso se maneja como una caja negra. Algunas estadísticas encontradas son que un 96% cuentan con sistemas de tratamiento de aguas residuales y redes separadas, un 61% cuenta con permiso de vertimientos, un 54% realizan lavado a presión y un 39% cumplen con las normatividad aplicable en vertimientos.

Para la selección de la muestra de las empresas a visitar se tomó como población objetivo las empresas identificadas por la SDA en el año 2010 en las visitas de seguimiento, control y vigilancia desarrolladas por la Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo, y se calculó la respectiva muestra para cada actividad arrojando que se debe realizar visita a todos los establecimientos identificados que realizan actividades de sacrificio de aves (14) y procesamiento de cárnicos (18). Para el desarrollo del presente trabajo de manera concertada con la SDA, se acordó visitar 8 establecimientos en cada actividad, para un total de 16 visitas técnicas.

Con base en las empresas identificadas se acordaron entrevistas con las personas encargadas del área ambiental con el fin de presentarle el proyecto y concretar una visita técnica a las actividades productivas y recopilar la información sobre consumos de agua y producción mensual. Para las visitas técnicas se diseñó una encuesta donde se recopila información básica de la empresa, como días y horas de funcionamiento, número de empleados, y turnos laborales. En relación al consumo de agua, la fuente de abastecimiento y los consumos de agua durante el último año, así como los sistemas de ahorro y aprovechamiento de agua, y los consumos de agua por cada etapa de proceso.

3.2 Identificación de las Variables que Influyen en el Consumo de Agua

En la identificación de las variables que influyen en el consumo de agua se analizó la información disponible sobre la demanda de agua para las dos actividades en estudio: sacrificio de aves y productos cárnicos procesados.

La información secundaria se obtuvo a través de los datos existentes en los expedientes que reposan en la SDA, a partir de la cuales se analizaron los balances de agua y caracterización de las

empresas pertenecientes al sector, para determinar los requerimientos de agua actual. Asimismo, se realizaron visitas de campo para levantar información sobre los consumos de agua y se efectuaron entrevistas a los empresarios para identificar la información relacionada con los parámetros que influyen en el nivel de demanda de agua. Con base en este análisis se establecieron las variables dependientes y explicativas que rigen el subsector.

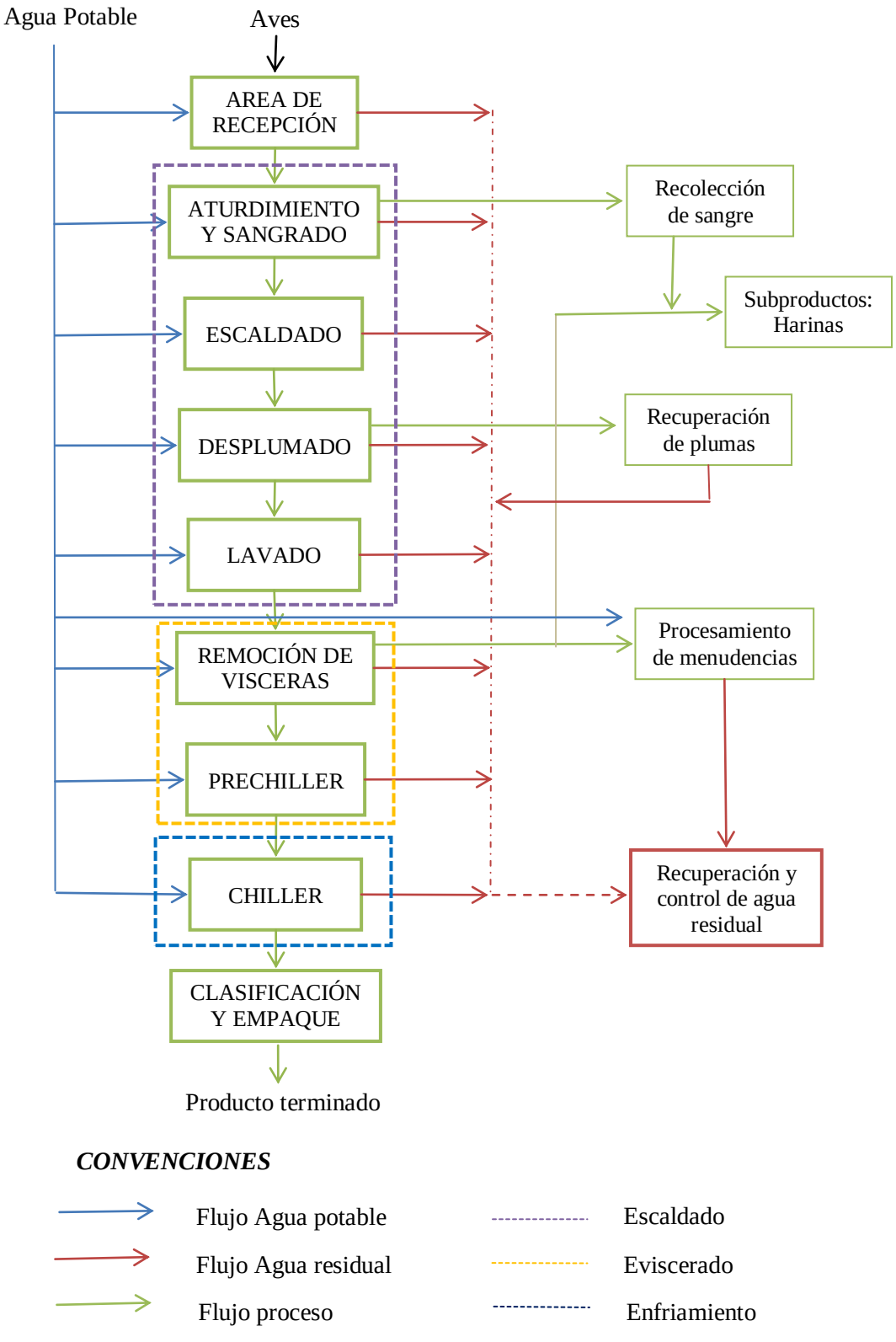
A continuación se presenta el análisis por cada una de los procesos productivos y las variables que influyen en el consumo de agua.

3.2.1 Sacrificio de Aves

Con base en la información recopilada en los expedientes y las visitas realizadas a las empresas de sacrificio de aves se identificaron los puntos de demanda de agua como se muestra en la

Figura 3-3 y Tabla 3-5, donde se establece si el consumo de agua está relacionado con el proceso productivo o hace parte de las actividades de limpieza y desinfección y, a la vez, se describe el uso del agua en la etapa de proceso.

Figura 3-3. Diagrama de flujo identificado del proceso de sacrificio de aves


Agua Potable
Aves
AREA DE RECEPCIÓN
ATURDIMIENTO Y SANGRADO
ESCALDADO
DESPLUMADO
LAVADO
REMOCIÓN DE VISCERAS
PRECHILLER
CHILLER
CLASIFICACIÓN Y EMPAQUE
Producto terminado
Recolección de sangre
Subproductos: Harinas
Recuperación de plumas
Procesamiento de menudencias
Recuperación y control de agua residual
CONVENCIONES
Flujo Agua potable
Flujo Agua residual
Flujo proceso
Escaldado
Eviscerado
Enfriamiento

Como se observa en la Tabla 3-5, los procesos que implican mayor consumo de agua corresponde a las etapas de: escaldado, evisceración y enfriamiento, ya que estas etapas implican consumo de agua para proceso y para limpieza.

Tabla 3-5. Puntos de consumo de agua

Proceso	Consumo de agua		Descripción
	Proceso	Limpieza	
Aturdimiento		X	Limpieza de áreas
Desangrado		X	Limpieza de áreas
Escaldado	X	X	Utilización de agua caliente para debilitar la inserción de las plumas en los folículos Limpieza de áreas
Desplumado		X	Limpieza de áreas y arrastre de sólidos
Evisceración	X	X	Lavado de canales (pre-chiller) Limpieza de áreas y arrastre de sólidos
Enfriamiento	X	X	Enfriamiento del canal a aprox. 4°C empleando un baño de agua con hielo Limpieza de áreas
Limpieza general		X	Limpieza y desinfección de equipos y planta

3.2.2 Procesamiento de productos cárnicos

En la Figura 3-4 y Tabla 3-6 se presentan los puntos de consumo de agua dentro de la industria de procesamiento de productos cárnicos, donde se identifica y se describe la actividad para la cual se hace uso del recurso por etapa de proceso.

Esta información indica que la principal actividad que consume agua, es la limpieza y desinfección de equipos, instalaciones y utensilios a lo largo del proceso de producción. Otras operaciones en las que se consume agua son el proceso de cocción y el posterior enfriamiento de los productos cocidos.

Figura 3-4. Diagrama de flujo identificado para el procesamiento de productos cárnicos

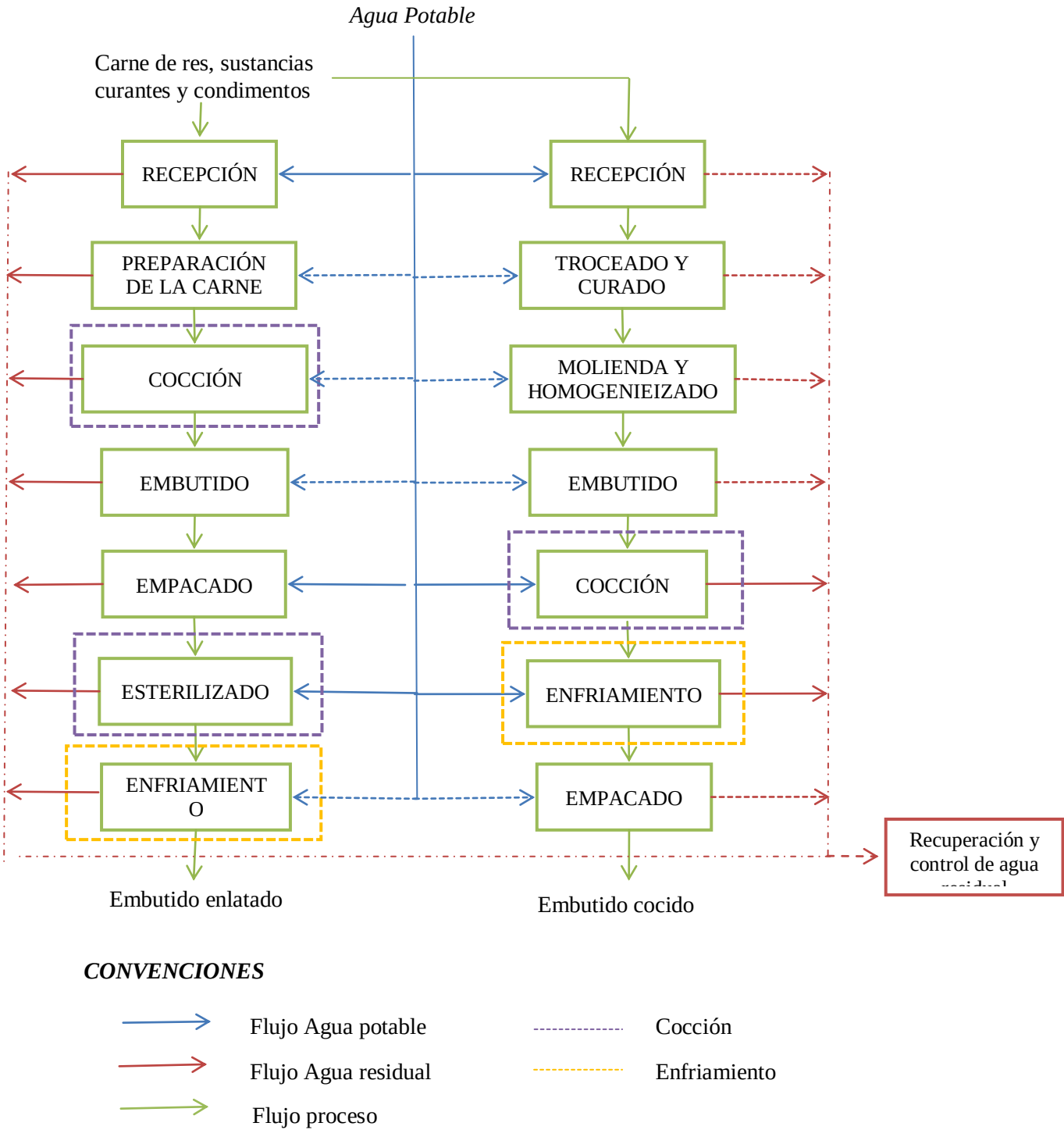


Tabla 3-6. Consumos de agua en la industria cárnica clasificados en función del tipo de actividad

Proceso	Consumo de agua		Descripción
	Proceso	Limpieza	

Proceso	Consumo de agua		Descripción
	Proceso	Limpieza	
Recepción		X	Limpieza de áreas
Amasado		X	Limpieza de áreas
Embutido		X	Limpieza de áreas
Inyección y masaje		X	Limpieza de áreas
Cocción	X	X	Limpieza de áreas Cocción por inmersión en agua caliente
Enfriamiento	X	X	Limpieza de áreas Enfriamiento del producto por inmersión
Envasado		X	Limpieza de áreas
Refrigeración		X	Limpieza de áreas
Limpieza general		X	Limpieza y desinfección de los equipos y la planta de producción

3.2.3 Variables identificadas

De acuerdo con un análisis cualitativo de la información recopilada por las visitas y en los expedientes, se consideró que las variables que pueden influir en la demanda de agua dentro del proceso de sacrificio de aves y de procesamiento de productos cárnicos, son el tamaño de la empresa y los procedimientos empleados para la limpieza y desinfección. Sin embargo, no es posible generalizar sobre las variables que influyen en el consumo de agua, debido a que cada proceso productivo tiene características intrínsecas. A continuación se presentan las variables identificadas en cada proceso y las variables transversales al sector cárnico (Tabla 3-7). La variable dependiente en el estudio es el consumo promedio de agua, valores que han sido tomados en las visitas técnicas realizadas.

Tabla 3-7. Descripción de las variables

Variable	Rango	Unidades	Sacrificio de Aves	Productos cárnicos
Proceso				
Producción	Producción mensual	No de aves Toneladas	X	
Procesos	Actividades	--	X	X
Actividad de limpieza	Actividades	--	X	X
Tamaño empresa	En función del número de empleados	--	X	X

Variable	Rango	Unidades	Sacrificio de Aves	Productos cárnicos
Transversales				
Precio	Precio para el agua	pesos	X	X
Normas de calidad		--	X	X
Seguridad Alimentaria		--	X	X
Producción y consumo sostenible		--	X	X

Una de las variables significativas para el caso de sacrificio de aves es la producción, debido a que tienen una relación directa al consumo de agua, caso contrario para el procesamiento de cárnicos, donde el nivel de producción no está directamente relacionado con el consumo de agua. Otra variable es la actividad de limpieza y desinfección de equipos, siendo una de las etapas más críticas debido a que el lavado de las áreas y equipos es indiferente al volumen de aves sacrificadas y a las toneladas de producto elaborado.

Se incluye en el análisis de variables el tamaño de las empresas debido a que en las visitas realizadas se evidenció que las empresas pequeñas no cuentan con un estricto control de consumo de agua e indicadores de seguimiento que permitiera evaluar el uso eficiente y de ahorro del agua.

Unas de las variables explicativas desde una perspectiva económica, son el precio debido a que la demanda de agua responde a los cambios en los precios. El aumento del consumo y su costo, son fundamentos suficientes para comenzar a modificar determinados hábitos e implementar medidas que reduzcan el volumen de agua consumida.

En los subsectores de la industria agroalimentaria, la importancia de los costos relacionados con el agua es significativa. Según CCEI (1998) en el caso de las plantas de sacrificio se encuentra entre un 2,5 y un 5% de la facturación anual; en este sentido, las actuaciones que se realicen para reducir los gastos por dicho concepto influirán positivamente sobre el resultado económico de la empresa. Por lo anterior, otras variables que influyen son la aplicación de mecanismos de ahorro en las

actividades de limpieza y desinfección, así mismo a las prácticas de producción y consumo sostenible (producción más limpia). (CCEI, 1998)

De acuerdo con el estudio realizado por Schleich and Hillenbrand (2009) afirma que otra variable que influye es el costo del tratamiento de las aguas residuales, variable que no fue medida en este estudio, debido a que es difícil el acceso a esta información. (Schleich & Hillenbrand, 2009). Por otra parte, dada la naturaleza de la industria agroalimentaria y las normas de higiene aplicables, en este sector, se debe utilizar agua de calidad potable en aquellas actividades en las que el agua entra en contacto directo o indirecto con los productos alimenticios. Por lo cual otras variables que influyen en el consumo de agua son las normas de calidad y de seguridad alimentaria, con el fin de dar cumplimento a los estándares de calidad exigidos por el mercado y se deben realizar actividades extras para cumplir dichas expectativas.

La industria agroalimentaria ha tomado importantes medidas destinadas a reducir el consumo de agua, aunque todavía queda por hacer en lo que concierne a la investigación de nuevos métodos de reducción y la aplicación de buenas prácticas y avances tecnológicos. Por tanto, con base en la identificación de estas variables deben dirigirse estudios con el fin de reducir el consumo de agua y la carga orgánica que vierten a la misma.

3.3 Análisis de Producción y Consumo de Agua

En este apartado se muestra el comportamiento de la producción de aves sacrificadas y de productos cárnicos procesados junto con el nivel de consumo de agua en el proceso productivo durante un año.

3.3.1 Sacrificio de Aves

- ***Producción***

En la Tabla 3-8 se muestran el reporte de producción durante el último año de las ocho empresas, donde se observa que para algunas empresas se presenta una reducción en la producción de pollo

en el primer semestre en rango entre un 5 y 12%. Esta variación presentada coincide con las estadísticas de FENAVI (2011), las cuales indican que durante los últimos 4 años, se ha presentado una reducción en el consumo de pollo de aproximadamente el 6% durante el primer semestre del año en comparación con el segundo semestre, lo cual está relacionado con el nivel de producción. Sin embargo el análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$) indica que no existe un efecto significativo por el tiempo, indicando que el nivel de producción es constante a lo largo del año. (FENAVI-FONAV, 2011)

Tabla 3-8. Número de aves sacrificadas durante 12 meses para las 8 empresas en estudio

Mes	Empresas No							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Julio/10	7788	4687	3478	7309	7945	3789	7944	3750
Agosto/10	8167	4631	3657	7508	7846	3499	8330	3937
Septiembre/10	8545	4575	3963	7708	7846	3899	8716	4026
Octubre/10	8924	4519	3619	7907	7900	3769	9102	4067
Noviembre/10	9302	4369	4316	8106	8291	4110	9330	3757
Diciembre/10	10966	4506	4102	8306	8577	4240	9911	3875
Enero/11	9881	4367	3478	8505	8698	3898	10999	3756
Febrero/11	8863	4363	3657	8705	8628	3754	8420	3752
Marzo/11	12005	4136	3963	8402	8963	3976	9604	3681
Abril/11	10174	4200	3619	9379	9579	3830	8139	3738
Mayo/11	11818	4128	4316	10257	10487	4129	9454	3674
Junio/11	12209	4072	4102	8774	8799	4214	9767	3624

Con respecto al comportamiento en el nivel de producción de pollo en función del tipo de empresa, se observa que la cantidad de aves sacrificadas varía dependiendo de la empresa, lo cual se relaciona con el tamaño de la empresa y su capacidad de producción. El análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$) indica que existe diferencia significativa entre las empresas estudiadas, e indica que estas se agrupan en 3 grupos, un primer grupo con niveles de producción superior a 9000

aves/mes, el segundo con nivel entre 8000 y 9000 aves/mes, el tercero con rango de producción entre 3000 y 5000 aves/mes (Tabla 3-9).

Tabla 3-9. Producción promedio de aves para las 8 empresas en estudio

Empresa	Producción promedio (No de aves/mes)
1 [a]	9887±1547
2 [c]	4379±209
3 [c]	3856±308
4 [b]	8405±823
5 [b]	8630±789
6 [c]	3926±218
7 [a]	9143±883
8 [c]	3803±142

Los resultados se reportan como promedio (n = 12) ± desviación estándar
Las letras diferentes indican diferencia significativa entre las empresas. (Tukey's $p < 0,05$).

- ***Consumo de agua***

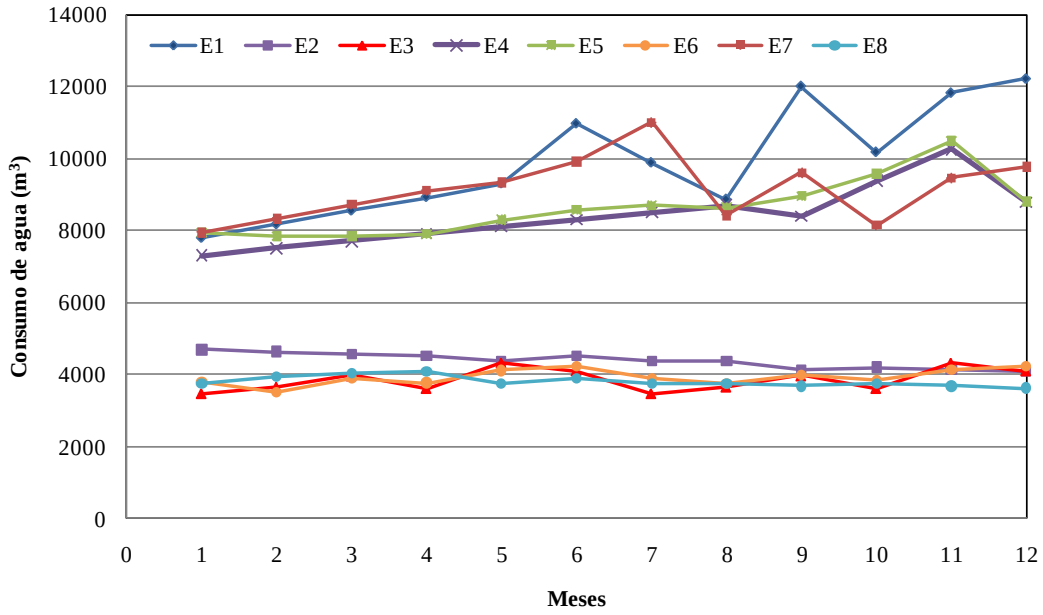
El proceso de sacrificio de aves se realiza en varias etapas que incluyen la recepción de las aves, insensibilización, escaldado, desplumado, evisceración, enfriamiento, escurrido, empaque y almacenamiento. En algunas de estas etapas el consumo de agua se debe a procesos de limpieza y desinfección, y otras el agua consumida está directamente relacionada con las actividades de procesamiento (Meleán-Romero, Bonomie-Sánchez & Rodríguez-Medina, 2008).

Por tanto, para este estudio se dividió el proceso en cuatro grandes etapas, tres de las cuales están relacionadas con el consumo de agua en el procesamiento, como son: a) escaldado, que contiene el desplumado, b) evisceración, que incluye el pre-chiller, c) enfriamiento, y la cuarta etapa está relacionada con los procesos de limpieza y desinfección. Además son las principales etapas que presentan consumo de agua (Caldera, Gutierrez, Luengo, Chavez & Ruesga, 2010).

En la Figura 3-5 se muestra el comportamiento histórico del consumo de agua mensual durante un año (julio de 2010 – junio 2011) en las empresas visitadas. En esta se puede observar que las

empresas se dividen dos grupos, un primer grupo con un nivel de consumo de agua entre 7.000 y 12.500 m3 y un segundo grupo con nivel entre 3.500 y 4.700 m3, esta variación puede estar directamente relacionada con la capacidad de producción de la empresa.

Figura 3-5. Distribución del consumo de agua en un periodo de un año (E significa Empresa)



En la Tabla 3-10 se muestran para las ocho empresas en estudio, los datos promedio del consumo de agua para los últimos doce meses por etapa de proceso y el global. El análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$) indica que durante los doce meses del estudio no hay variación en el consumo de agua, mientras el análisis estadístico por empresa indica que existe diferencia entre ellas, presentándose dos grupos.

El primero corresponde a las empresas 1, 4, 5, y 7 las cuales presentan los mayores niveles de consumo de agua y se caracterizan por presentar los mayores números de empleados, los cuáles oscilan entre 100 y 250 personas, y un segundo grupo, que corresponden a las otras 4 empresas, en las cuales laboran menos de 100 personas y tienen los más bajos consumos de agua de las ocho empresas en estudio. Estos grupos coinciden con los encontrados en el análisis anual de consumos de agua.

Tabla 3-10. Consumo de agua por etapa de proceso para las 8 empresas en estudio

No de Empresa	Consumo de agua (m^3)				Consumo Global (m^3)
	Escaldado [b]	Eviscerado [a]	Enfriamiento [a]	Limpieza [b]	
1 [A]	1186±186	3460±542	3658±572	1582±248	9887±1547
2 [B]	569±27	1314±63	1708±82	788±38	4379±209
3 [B]	578±46	1195±96	1388±111	694±55	3856±308
4 [A]	1009±99	2858±280	3698±362	841±82	8405±823
5 [A]	1208±110	2762±252	3279±300	1381±126	8630±789
6 [B]	471±26	1295±72	1217±68	942±52	3926±218
7 [A]	1371±132	3292±318	2743±265	1737±168	9143±883
8 [B]	532±20	1179±44	1331±50	761±28	3803±142

Los resultados se reportan como promedio (n = 12) ± desviación estándar. Las letras diferentes en columnas indican diferencia significativa entre las etapas de proceso y en filas indican diferencia significativa entre las empresas. (Tukey's $p< 0,05$).

La determinación del nivel de consumo de agua por etapa de operación no es fácil de establecer, ya que en la mayoría de las empresas no se cuenta con mecanismos de medición del consumo agua parcial por proceso. El reporte de agua consumida que se maneja es el consumo global de agua a través de las lecturas del contador general. Sin embargo para calcular estos niveles de consumo por proceso se tuvo en cuenta los porcentajes indicados por el empresario de acuerdo con el balance hídrico y el conocimiento de su proceso productivo.

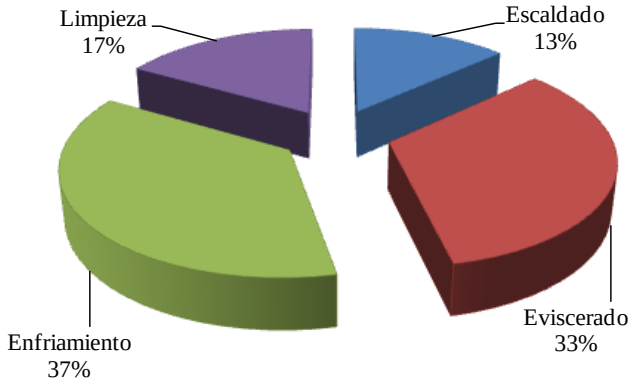
El elevado consumo de agua se debe principalmente a la necesidad de mantener unos exigentes estándares higiénicos y el estricto cumplimiento a las normas sanitarias y de seguridad alimentaria, así como también la garantía de ofrecer productos finales con la frescura y calidad exigida por los consumidores.(CAR/PL, 2006; Meleán-Romero et al., 2008). En la Tabla 3-10, se observa que los mayores consumos de agua se presentan en la etapas de eviscerado y enfriamiento, etapas que están directamente relacionadas con procesos que permiten garantizar la inocuidad del ave.

El análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$) muestra que las etapas de procesos tienen un efecto significativo sobre el consumo de agua, e indica que estas se dividen en dos grupos, el primero

relacionado con los procesos de eviscerado y enfriamiento, los cuales presentan los mayores consumos de agua, y el grupo dos, que relaciona las actividades de escaldado y limpieza de las instalaciones.

En la Figura 3-6, se muestran los promedios de consumo de agua por etapas para las ocho empresas y los 12 meses de medición. De acuerdo con la figura se observa que las etapas del proceso de sacrificio presentan niveles de consumo de agua del 37 ± 3% para el enfriamiento, 33± 3% para la evisceración, 17 ± 2% en las actividades de limpieza y del 13 ± 1% en el proceso de escaldado. En el estudio de Kist, Moutaqi et al. (2009) la actividad de enfriamiento demanda un 16.7% del consumo total de agua, 45% menor al encontrado en este estudio, lo cual es debido a la implementación de sistemas de enfriamiento más eficientes.

Figura 3-6. Porcentaje de distribución del consume de agua promedio en el sacrificio de aves.



Estos porcentajes coinciden con lo reportado por Formentini et al. (2010), quien indica que el proceso de evisceración presenta niveles de consumo de agua del 34%, para el enfriamiento del 31%, el proceso de limpieza y lavado del 22% y el escaldado del 12%. Los altos niveles de consumo de agua en los procesos de limpieza se deben principalmente a que el objetivo de esta etapa es evitar la acumulación de residuos en el piso y en los equipos. En su trabajo Amorim et al. (2007) presenta la siguiente distribución de consumo de agua: escaldado y desplume (50%), evisceración (18%), sistema de enfriamiento (14 %) y limpieza de equipos y áreas (18%). Esta distribución muestra una diferencia significativa frente a los resultados obtenidos en este estudio y en Formentini et al. (2010) en relación al agua consumida en la etapa de escaldado, la cual es 3.8 veces más alta en el estudio Amorim et al. (2007) respecto a los otros estudios.(Formentini, Costanzi, Hashisuca, Paulillo, Neto A. & Morais, 2010)

Varios reportes afirman que una gran parte del consumo de agua se relaciona con el lavado constante de los residuos generados en el sacrificio, cuyo el principal objetivo es evitar que la acumulación de residuos en los pisos y equipos, de manera que se garantice la calidad en la relación de los estándares higiénicos sanitarios tanto de la matriz alimentaria como de las instalaciones (Amorim et al., 2007; Kist et al., 2009; Kupusovic et al., 2007). Dentro de las variables que pueden influir en los niveles de consumo de agua se tiene el tamaño de la planta, el grado de automatización y a las prácticas en la fase limpieza y desinfección durante y al finalizar las actividades de sacrificio, este último es independiente del número de pollos sacrificados (CAR/PL, 2006).

3.3.2 Productos procesados

- ***Producción***

El comportamiento de la producción de productos cárnicos procesados durante doce meses para las ochos empresas en estudio se muestra en la Tabla 3-11, donde se observa la gran variación que existe entre las empresas con relación al nivel de producción. Esta diferencia se debe principalmente al tamaño de planta de producción y al nivel de ventas de cada uno.

De acuerdo con el análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$) para evidenciar si hay variación en la producción en el tiempo, este indica que no existe diferencia significativa, es decir que el nivel de productos procesados por cada empresa es constante a lo largo del año de producción analizado.

Tabla 3-11. Toneladas de producto procesado durante 12 meses para las 8 empresas en estudio

Mes	No de empresas							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Julio/10	8	90	20	102	70	40	110	2000
Agosto/10	8	111	19	105	72	42	109	1990
Septiembre/10	8	134	18	102	69	43	112	1990
Octubre/10	8	153	18	101	69	41	108	2010
Noviembre/10	8	131	15	101	69	44	109	2100
Diciembre/10	8	128	16	85	69	41	111	2200
Enero/11	8	75	15	85	71	43	108	2000

Mes	No de empresas							
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**
Febrero/11	8	127	15	100	71	49	109	2000
Marzo/11	6	121	16	110	72	42	110	1970
Abril/11	6	121	15	103	72	46	113	2020
Mayo/11	6	122	15	102	68	43	111	2050
Junio/11	6	122	15	109	69	41	110	2060

En relación a la diferencia entre las empresas, el análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$) indica que existe diferencia significativa entre ellas y que se agrupan en 4 grandes grupos. El primer grupo corresponde a la empresa con mayor nivel de producción (2032 Ton de producto procesado/mes) que cuenta con un número de empleados superior a 500 y labora 26 días al mes en tres turnos, el siguiente grupo corresponde a empresas con un nivel de producción entre 80 y 130 Ton/mes, con un número de empleados entre 30 y 70 con jornadas de 8 y 16 horas durante 26 días al mes.

El tercer grupo son empresas con nivel de producción entre 40 y 70 Ton/mes y con un número de empleados entre 15 y 40, laborando 22 y 26 días en jornadas de 8 y 16 horas, y el último grupo con una producción menor a 16 Ton/mes, contando con 15 y 40 personas laborando 8 horas al día durante 26 días.

Tabla 3-12. Producción promedio de productos procesados para las 8 empresas en estudio

Empresa	Producción promedio (Ton de producto procesado/mes)
1 ^{E}	7,33±0,98
2 ^{B}	119,70±20,20
3 ^{DE}	16,42±1,83
4 ^{B}	100,42±7,84
5 ^{C}	70,08±1,44
6 ^{CD}	42,92±2,50
7 ^{B}	110,00±1,54
8 ^{A}	2032,50±63,98

Los resultados se reportan como promedio (n = 12) ± desviación estándar.
Las letras diferentes indican diferencia significativa entre las empresas. (Tukey's $p< 0,05$).

Este comportamiento tan diverso entre las empresas, indica la poca homogeneidad en relación a los procesos de producción, ya que empresas con niveles similares en número de empleados y horas de trabajo, presentan diferencias en el nivel de producción de hasta del 300%, lo cual indica que el nivel de productividad por empresa es distinto implicando bajos procesos de estandarización.

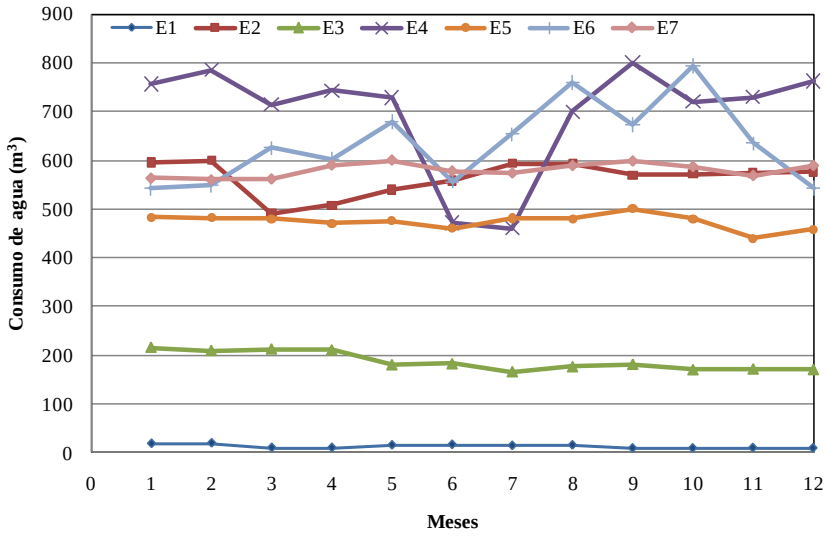
- ***Consumo de agua***

Dentro del proceso de elaboración de productos cárnicos existe una gran variabilidad, principalmente por el gran número de productos que se pueden elaborar a partir de la misma materia prima (carne), lo que implica un gran número de operaciones específicas y parámetros de proceso que se requieren para conseguir cada tipo de producto (MinAmbiente, 2006).

Algunas de estas etapas involucran consumo de agua relacionado con el producto y otras con los procesos de limpieza y desinfección, siendo esta última la que más implica consumo de agua. Teniendo en cuenta la información obtenida de las visitas de campo y lo antes mencionado, se clasifico el proceso de las empresas en estudio en tres etapas. La primera es el proceso de limpieza y desinfección de equipos, instalaciones y utensilios de trabajo, la segunda es la etapa de cocción y la tercera el enfriamiento de los productos cocidos.

En la Figura 3-7 se presenta el comportamiento en el consumo de agua durante el último año (junio 2010 – mayo 2011) de las empresas visitadas. Como se puede observar el consumo de agua por empresa es muy variable, lo cual puede estar relacionado con el volumen de producción. Solo se presenta el comportamiento de siete empresas, porque la octava empresa presenta niveles de consumo muy superiores y no permite observar el comportamiento de las otras empresas, por lo cual se descarta del estudio.

Figura 3-7. Distribución del consumo de agua en un periodo de un año



Como se observa en la Figura 3-7 algunas empresas presentan variaciones en el consumo de agua a lo largo del tiempo de estudio, sin embargo el análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$) indica que no se presenta variación estadísticamente significativa en el consumo de agua en los doce meses del estudio.

La Tabla 3-13 muestra los datos promedio del consumo de agua para los últimos doce meses por etapa de proceso y el global para las ocho empresas en estudio. Al analizar el efecto en el consumo de agua por el tipo de empresa, el análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$) indica que existe diferencia entre ellas, presentándose tres grupos. El primero corresponde a la empresa 8, la cual presenta el mayor consumo de agua y se caracterizan por tener los niveles de producción y números de empleados más altos, respecto de las otras empresas estudiadas.

El segundo grupo, que corresponde a las empresas 2, 4, 5, 6 y 7, que presentan niveles de consumo de agua similares, pero con variaciones en su nivel de producción, número de empleados y horas de trabajo, implicando que puede haber diferencias a nivel tecnológico y de productividad. Del último grupo hacen parte las empresas 1 y 3 que presentan similares tiempos de funcionamiento, de empleados y nivel de producción.

Tabla 3-13. Consumo de agua por etapa de proceso para las 8 empresas en estudio

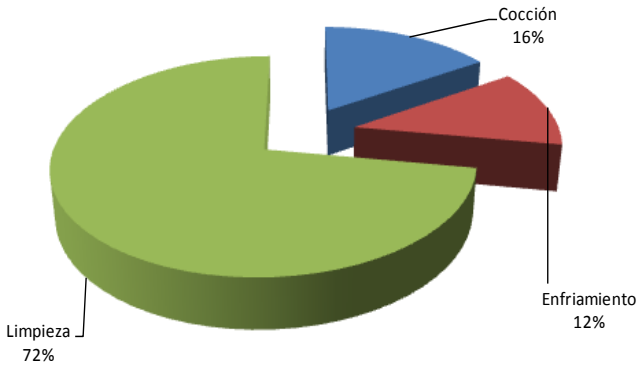
No de Empresa	Consumo de agua (m^3)			Consumo Global (m^3)
	Cocción [B]	Enfriamiento [B]	Limpieza [A]	
1 [C]	2,18±0,49	1,67±0,49	8,97±2,63	12,82±3,60
2 [B]	90,25±3,50	56,41±3,50	417,42±25,93	564,08±32,94
3 [C]	26,17±2,08	20,56±2,08	140,21±14,17	186,94±18,33
4 [B]	125,60±13,45	83,73±13,45	488,43±78,45	697,75±105,35
5 [B]	71,11±1,54	47,41±1,54	355,57±11,51	474,09±14,59
6 [B]	76,12±11,65	88,81±11,65	469,44±61,58	634,37±84,88
7 [B]	75,39±1,55	63,80±1,55	440,77±10,73	579,96±13,83
8 [A]	2154,53±36,31	1615,90±36,31	9695,39±217,89	13465,82±290,52

Los resultados se reportan como promedio (n = 12) ± desviación estándar. Las letras diferentes en columnas indican diferencia significativa entre las etapas de proceso y en filas indican diferencia significativa entre las empresas. (Tukey's $p < 0,05$).

Como se observa en la Figura 3-8, la etapa del proceso de limpieza y desinfección representa el 72% del consumo de agua. Una empresa durante un día de producción, puede procesar una gran variedad de productos, que presentan diversidad en sus componentes y tipología final, empleando los mismos equipos ya que es inviable económicamente para una empresa contar con líneas independientes para cada proceso.

Esto implica un riesgo de contaminación microbiológica y de residualidad de especias y condimentos en los equipos. En consecuencia, cuando en una instalación se procede al cambio de producto procesado, se debe realizar limpiezas intermedias de los equipos e instalaciones (MinAmbiente, 2006), implicando altos niveles de consumo de agua para garantizar la inocuidad de la planta y por ende del producto procesado.

Figura 3-8. Porcentaje de distribución del consume de agua promedio en el sacrificio de aves.



El 16% del total de agua consumida corresponde a la etapa de cocción, la cual se relaciona con la producción de jamón cocido y embutidos escaldados y cocidos. Este proceso puede ser más o menos eficiente de acuerdo con el sistema de cocción empleado: abierto o cerrado. Siendo el sistema abierto, el que mayor consumo de agua tiene por las pérdidas de agua por procesos de evaporación y el incremento en los niveles de contaminación, haciendo que el nivel de reutilización se reduzca en comparación con el sistema cerrado. Estas diferencias de tecnología de cocción se evidencian en los niveles de consumo de agua en esta etapa en función del nivel de producción (Tabla 3-13).

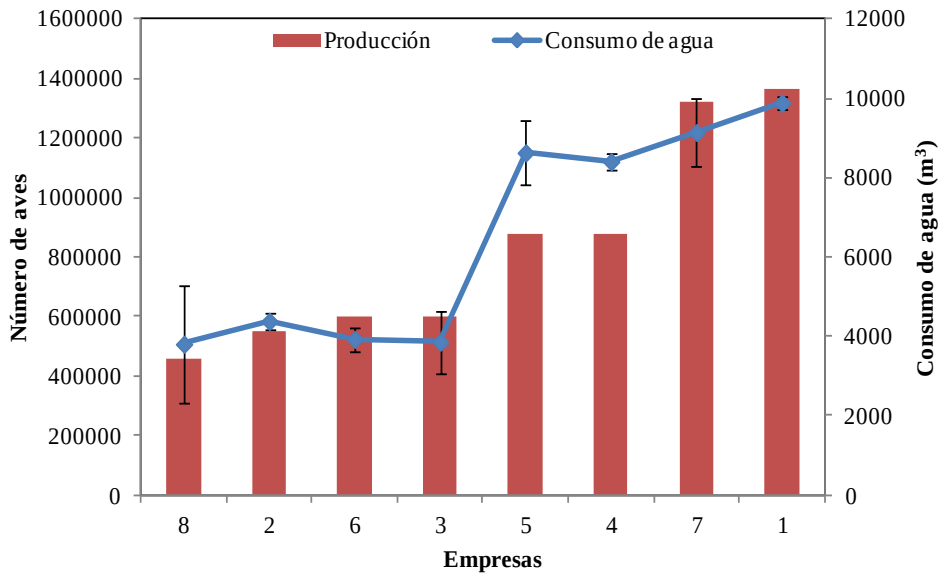
La etapa de enfriamiento demanda el 12% del consumo total de agua y consiste en la inmersión del producto en agua fría. Sin embargo esta técnica presenta un problema al aplicarla en los productos envasados, si estos presentan alguna fisura contaminando el agua e impidiendo su reutilización.

3.4 Módulos de Consumo

3.4.1 Módulo de consumo para el proceso de Sacrificio de Aves

En la Figura 3-9 se presenta el número promedio nivel de consumo de agua y del número de aves sacrificadas en los doce meses para cada una de las empresas, donde se evidencia que existe una relación directa entre el consumo de agua y el nivel de producción.

Figura 3-9. Nivel de consumo de agua y número de aves sacrificadas por empresa



Como se observa en la Figura 3-8, las empresas 1 y 7 presentan niveles de consumo de agua similares con las empresas 4 y 5, pero hay una diferencia del 36% en el número de aves sacrificadas, esta diferencia se debe a que entre un 10 al 20% del agua consumida se destina a las labores de limpieza y desinfección. Cabe mencionar que las cuatro empresas que se están comparando cuentan con un nivel tecnológico muy similar, que para el caso en estudio, no es factor que se puede evaluar y definir si es determinante en el consumo de agua, debido a que no se contó con micro mediciones que permitieran evaluar cada una de las tecnologías aplicadas en las empresas.

Los datos promedio de los módulos de consumo de agua para los últimos doce meses por etapa de proceso y el global, para las ocho empresas en estudio, se muestran en la Tabla 3-14 donde se observa que los mayores módulos de consumo se presentan en la etapa de enfriamiento con valores entre 2,0 y 4,4 L/ave, seguido por la etapa de eviscerado donde se consume un nivel de agua entre 1,9 y 3,3 L/ave. Estos altos niveles de consumo de agua en estas dos etapas se relacionan directamente con la garantía de la calidad microbiológica del producto, ya que en la etapa de eviscerado, el producto entra en contacto con fluidos que pueden generar un alto nivel de contaminación del producto y deben ser eliminados con gran volumen de agua, influyendo en el consumo global de agua.

Tabla 3-14. Módulo de consumo de agua por etapa de proceso para las 8 empresas en estudio

No de Empresa	Módulo de consumo de agua (L/ave)				Módulo de consumo global (L/ave)
	Escaldado [a]	Eviscerado [b]	Enfriamiento [c]	Limpieza [d]	
1 [B]	0,86±0,06	2,52±0,18	2,66±0,19	1,15±0,08	7,19±0,51
2 [AB]	1,05±0,09	2,42±0,20	3,14±0,26	1,45±0,12	8,06±0,65
3 [B]	0,96±0,06	1,99±0,13	2,31±0,15	1,16±0,07	6,43±0,41
4 [A]	1,16±0,06	3,28±0,18	4,24±0,23	0,96±0,05	9,64±0,52
5 [A]	1,39±0,07	3,17±0,16	3,77±0,19	1,59±0,08	9,91±0,50
6 [B]	0,79±0,05	2,18±0,14	2,05±0,13	1,59±0,10	6,60±0,42
7 [B]	1,04±0,10	2,51±0,23	2,09±0,19	1,32±0,12	6,96±0,65
8 [AB]	1,17±0,07	2,58±0,17	2,92±0,19	1,67±0,11	8,33±0,54

Los resultados se reportan como promedio (n = 12) ± desviación estándar. Las letras diferentes en columnas indican diferencia significativa entre las etapas de proceso y en filas indican diferencia significativa entre las empresas. (Tukey's $p < 0,05$).

Se observa también en la Tabla 3-14 que la etapa de limpieza y lavado, presenta mayores niveles de la demanda de agua respecto del escaldado, ya que la limpieza es un factor primordial que se debe garantizar a lo largo de proceso de producción para reducir el impacto en el nivel de calidad del producto terminado y que pueda repercutir en la vida útil del mismo.

El análisis estadístico (ANOVA $p<0,05$), para el comportamiento de los módulos de consumo de agua en las ochos empresas, indica que hay diferencia significativa entre ellas presentándose dos grupos, uno que relaciona las empresas con mayor capacidad de producción y número de empleados y el segundo grupo se encuentra las empresa que tiene niveles de producción promedio menores a 5000 aves al mes. En relación al cambio en los módulos por efecto del tiempo, el análisis indica que no hay variación en los módulos de consumo de agua durante los últimos doce meses para ninguna de las empresas.

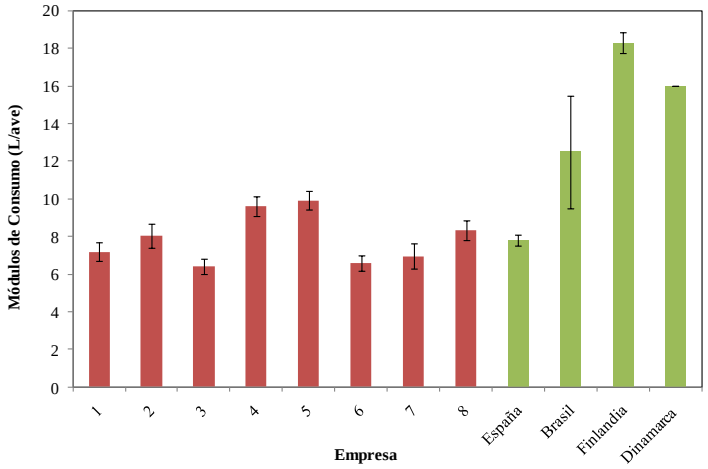
Los módulos de consumo reportados en la literatura para el proceso de sacrificio de aves en diferentes países se muestran en la Tabla 3-15, donde se observa que hay una gran diferencia entre los módulos determinados, lo cual puede estar relacionado con el nivel de tecnología de cada país.

Tabla 3-15. Módulos de consumo reportados en la literatura

Módulo de consumo (L/ave)	País	Fuente
7. 5	España	(AINIA, 2000)
14.5	Brasil	(Kist et al., 2009)
8 – 15	Brasil	(Matsumura et al., 2008)
8	España	(CAR/PL, 2006)
8	España	(CCEI, 1998)
17,9 – 18,7	Finlandia	(IFC, 2007)
16,1	Dinamarca	(IFC, 2007)

Como se muestra en la Figura 3-10, el módulo de consumo de agua para las empresas de Bogotá presenta valores similares a los reportados para España y muy por debajo de los reportados por Brasil, Finlandia y Dinamarca.

Figura 3-10. Comparación entre el módulo de consumo de las empresas Bogotá y con otros países

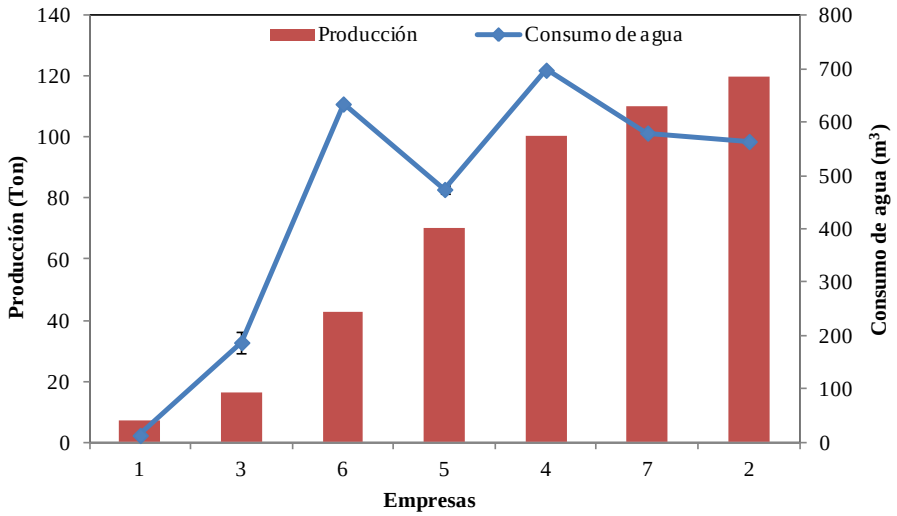


Con base en esta información, no es posible realizar un análisis comparativo de los índices obtenidos en las fuentes consultadas con los calculados debido a que en los artículos no se describe la tecnología usada en el proceso productivo, lo cual puede ser un factor determinante en la cantidad de agua consumida y se puede generar conclusiones erradas.

3.4.2 Módulo de consumo para el proceso de Productos Cárnicos Procesados

La relación entre el consumo de agua en m3 y el nivel de producción en toneladas, se muestra en la Figura 3-11, donde se puede observar que no existe una relación directa entre el consumo de agua y en el nivel de producción debido a que la mayoría de empresas no cuentan con procesos similares y además no es la única variable que puede influir en el consumo total de agua en la empresa. La empresa número 2 maneja no sistemas de cocción por inmersión en agua caliente, sino hornos a vapor, por lo cual el consumo de agua no es tan elevado en comparación con las otras empresas que presentan niveles similares de producción.

Figura 3-11. Nivel de consumo de agua y toneladas de producción por empresa



Estas diferencias en los niveles de consumo, también se deben a que las actividades que consumen la mayor cantidad de agua es la de limpieza y desinfección de equipos, utensilios e instalaciones, y son independientes de los niveles de producción.

En la Tabla 3-16 se muestra los datos promedio de los módulos de consumo de agua para los últimos doce meses por etapa de proceso y el global, para las ocho empresas en estudio. Como se observa en la tabla los mayores módulos de consumo se presentan en la etapa limpieza con valores entre 1.21 y 10.9 m3/ton. Este alto nivel de consumo de agua se relaciona con la garantía de inocuidad del producto, ya que en un día de producción se requieren de varias etapas de lavado de los equipos a lo largo de proceso de producción incrementando el volumen de agua consumido e independiente del nivel de producción. Además estos

consumos se ven influenciados por los planes y procedimientos de limpieza y desinfección y el tamaño de la planta de producción.

Tabla 3-16. Módulo de consumo de agua por etapa de proceso para las 8 empresas en estudio

No de Empresa	Módulo de consumo de agua (m^3/ton)			Consumo Global (m^3/ton)
	Cocción [B]	Enfriamiento [B]	Limpieza [A]	
1 [D]	0,29±0,06	0,22±0,05	1,21±0,25	1,73±0,36
2 [CD]	0,78±0,20	0,49±0,12	3,63±0,92	4,90±1,24
3 [AB]	1,60±0,05	1,25±0,04	8,55±0,26	11,40±0,35
4 [BC]	1,24±0,12	0,83±0,08	4,83±0,48	6,90±0,69
5 [BCD]	1,01±0,02	0,68±0,01	5,07±0,11	6,76±0,15
6 [A]	1,77±0,15	2,06±0,17	10,91±0,92	14,74±1,25
7 [CD]	0,69±0,02	0,58±0,02	4,01±0,12	5,27±0,16
8 [BCD]	1,06±0,02	0,80±0,02	4,77±0,11	6,63±0,15

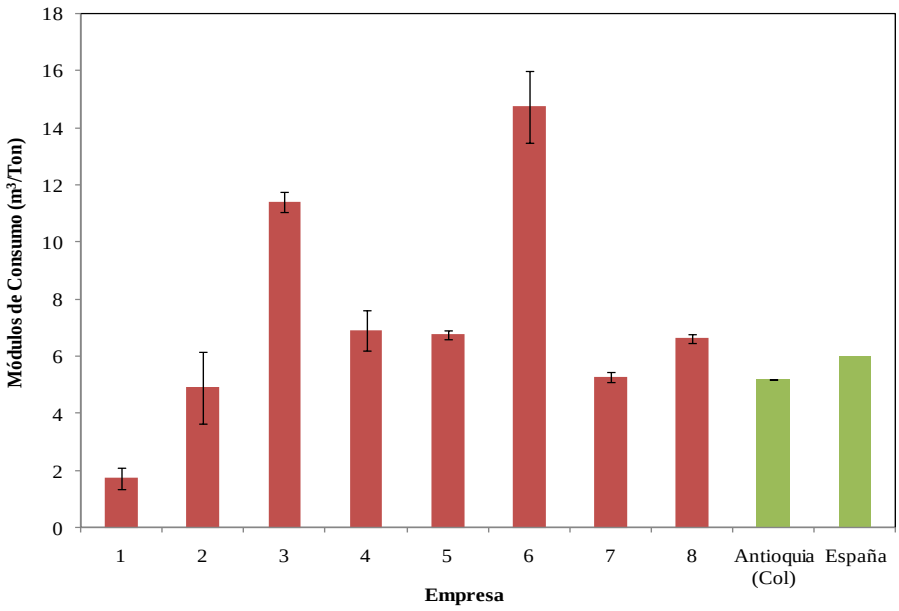
Los resultados se reportan como promedio (n = 12) ± desviación estándar. Las letras diferentes en columnas indican diferencia significativa entre las etapas de proceso y en filas indican diferencia significativa entre las empresas. (Tukey's $p < 0,05$).

La segunda etapa con altos consumos de agua es el proceso de cocción, en la cual los niveles de agua están en un rango entre 0.22 y 1.77 m3/ton, este amplio rango está relacionado con el nivel de producción y el tipo de técnica de cocción empleada.

El análisis estadístico del comportamiento de los módulos de consumo de agua para las ochos empresas, indica que existe diferencia significativa (ANOVA $p<0,05$) entre ellas y en relación al cambio en los módulos por efecto del tiempo, el análisis indica que no hay variación en los módulos de consumo de agua durante los últimos doce meses para ninguna de las empresas, estos son constantes a los largo del año.

De acuerdo con la Cámara Oficial de Comercio e Industria de Madrid (1998), reporta que el módulo de consumo de agua para el procesamiento de productos cárnicos en España es de 6 m3/Ton. Como se muestra en la Figura 3-12, el módulo de consumo de agua para las empresas de Bogotá presenta valores similares a los reportados para España. Así mismo, el módulo de consumo definido por CORANTIOQUIA (2003) es también muy similar a los encontrados en este estudio.

Figura 3-12. Comparación módulo de consumo de agua de las empresas Bogotá y otros países



3.4.3 Modelo matemático de correlación de consumo de agua.

Para desarrollar un modelo matemático se debe determinar si existe correlación entre las variables, para esto se empleó el coeficiente de correlación de Pearson. Este es un índice estadístico que mide la relación lineal entre dos variables cuantitativas, en este caso se determinó la correlación entre las variables consumo de agua y producción, para cada una de las etapas estudiadas.

Para garantizar un modelo matemático ajustado se debe realizar un análisis de datos para identificar aquellos valores no confiables que pueden influir en la correlación. Teniendo en cuenta lo mencionado, en este estudio se utilizó el Criterio de Chauvenet para la evaluación de datos no confiables con el fin de garantizar un coeficiente de correlación mayor a 0.7, teniendo en cuenta que las empresas no tiene un alto grado de homogeneidad.

A continuación se presentan los resultados encontrados para los dos procesos en estudio.

- ***Sacrificio de Aves***

A través de un análisis de correlación de Pearson con p<0.05 (Tabla 3-17.) se corroboró que la variables consumo de agua se correlaciona con la producción, lo cual indicaría que el consumo de agua está directamente relacionado con el nivel de producción en cada una de las etapas del proceso

Tabla 3-17. Matriz de la correlación de Pearson para los procesos en estudio

	Consumo agua			
	Escaldado	*Eviscerado*	*Enfriamiento*	*Limpieza*
Producción	0.942*	0.942*	0.857*	0.946*

*Nivel de significancia p<0,05.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de correlación de Pearson, se buscó determinar un modelo matemático que permitiera establecer el módulo de consumo de agua en función de los parámetros medidos.

Consumo de Agua = f (producción)
Módulo de Consumo = f (Consumo de agua, producción)

Donde:
Producción = Número de aves sacrificadas durante un mes
Módulo de Consumo = Litros de Agua / Aves sacrificadas

Para obtener esta relación se graficó el consumo de agua vs producción, encontrando en algunos casos correlaciones menores a 0.8, por lo cual se decidió aplicar el Criterio de Chauvanet, donde se identificaron que 12 de los 96 datos no eran confiables, estos datos se revisaron en su origen, se realizó un análisis de la veracidad de la información recopilada en las visitas y se determinó la viabilidad de descartarlos. Se descartaron siete (7) datos para el proceso de sacrificio de aves debido a que eran picos de agua no justificados y que no correspondían al comportamiento normal de la empresa, lo cual permitió un mejor nivel de correlación.

Se muestra a continuación el modelo para cada una de las etapas del proceso de producción de sacrificio de aves que implican consumo agua

a. Escaldado

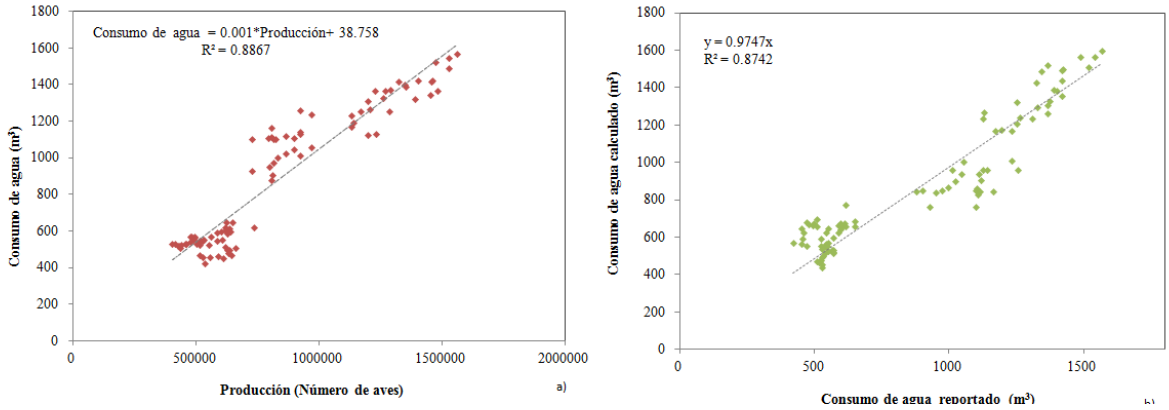
$$Consumo\ de\ Agua = 38.758 + 0.001 * Producción$$

$$\text{Modulo de consumo} = \frac{38.758 + 0.001 * Producción}{\text{Producción}} * 1000$$

Para determinar las bondades del modelo, se muestran a continuación las pruebas estadísticas que indican el nivel del ajuste:

- Coeficiente de correlación múltiple: 0.886
- Coeficiente de determinación ajustado: 0.885%
- Estadístico de Durbin-Watson = 0.507276

Figura 3-13. a) Correlación entre consumo de agua vs número de aves sacrificadas b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de escaldado



b. Eviscerado

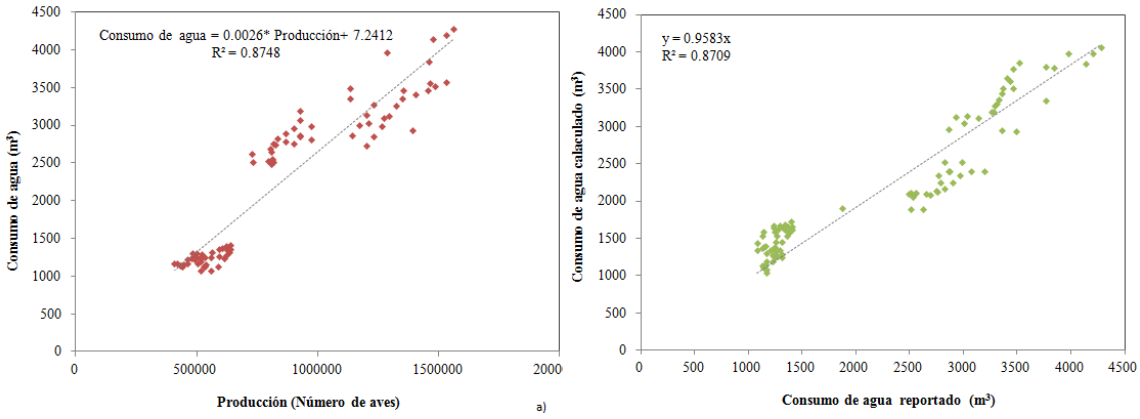
$$Consumo\ de\ Agua = 7.2412 + 0.00260 * Producción$$

$$\text{Modulo de consumo} = \frac{7.2412 + 0.00260 * Producción}{\text{Producción}} * 1000$$

Para determinar las bondades del modelo, se muestran a continuación las pruebas estadísticas que indican el nivel del ajuste:

- Coeficiente de correlación múltiple: 0.8748
- Coeficiente de determinación ajustado: 0.873%
- Estadístico de Durbin-Watson = 0.477179

Figura 3-14. a) Correlación consumo de agua vs número de aves sacrificadas b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de eviscerado



c. Enfriamiento

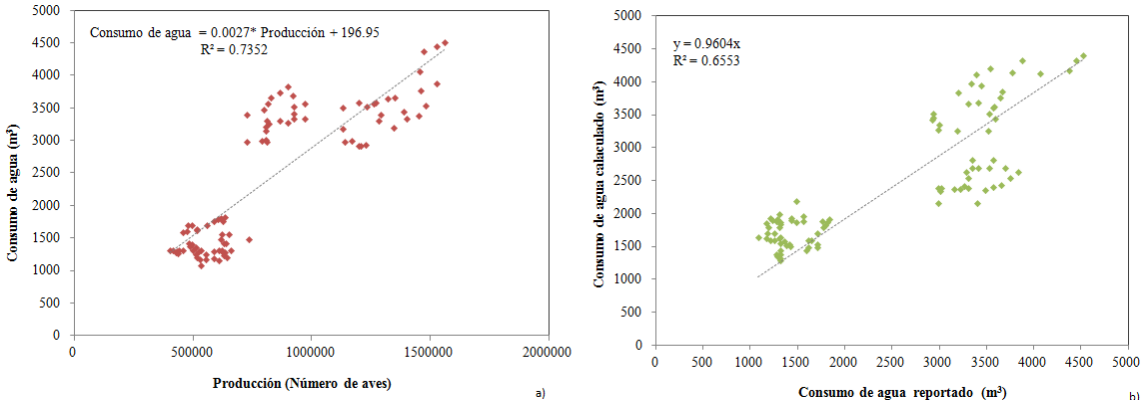
$$Consumo\ de\ Agua = 196.195 + 0.0027 * Producción$$

$$\text{Modulo de consumo} = \frac{(196.195 + 0.0027 * Producción)}{\text{Producción}} * 1000$$

Para determinar las bondades del modelo, se muestran a continuación las pruebas estadísticas que indican el nivel del ajuste:

- Coeficiente de correlación múltiple: 0.7352
- Coeficiente de determinación ajustado: 73.24%
- Estadístico de Durbin-Watson = 0.266639

Figura 3-15. a) Correlación consumo de agua vs número de aves sacrificadas b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de enfriamiento



d. Proceso de limpieza

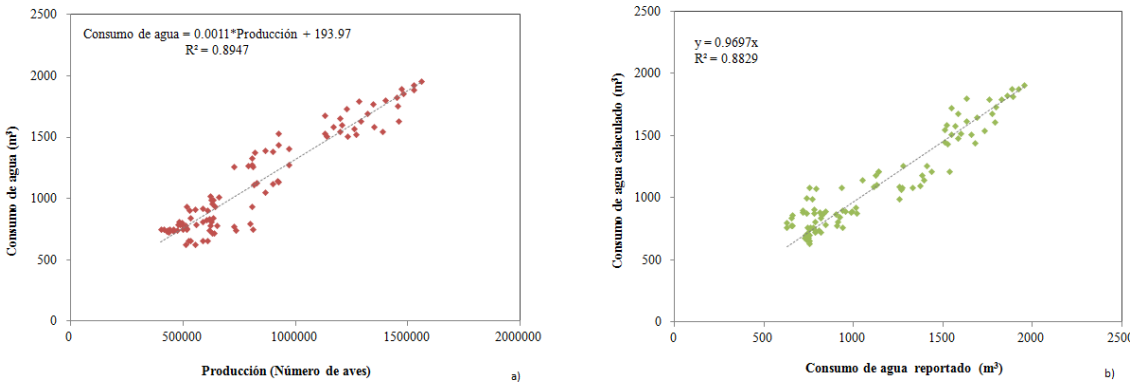
$$Consumo\ de\ Agua = 193.97 + 0.0011 * \text{Pr}oducción$$

$$\text{Modulo de consumo} = \frac{(193.97 + 0.0011 * \text{Pr}oducción)}{\text{Producción}} * 1000$$

Para determinar las bondades del modelo, se muestran a continuación las pruebas estadísticas que indican el nivel del ajuste:

- Coeficiente de correlación múltiple: 0.8947
- Coeficiente de determinación ajustado: 0.893%
- Estadístico de Durbin-Watson = 0.463887

Figura 3-16. a) Correlación consumo de agua vs número de aves sacrificadas y b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de limpieza

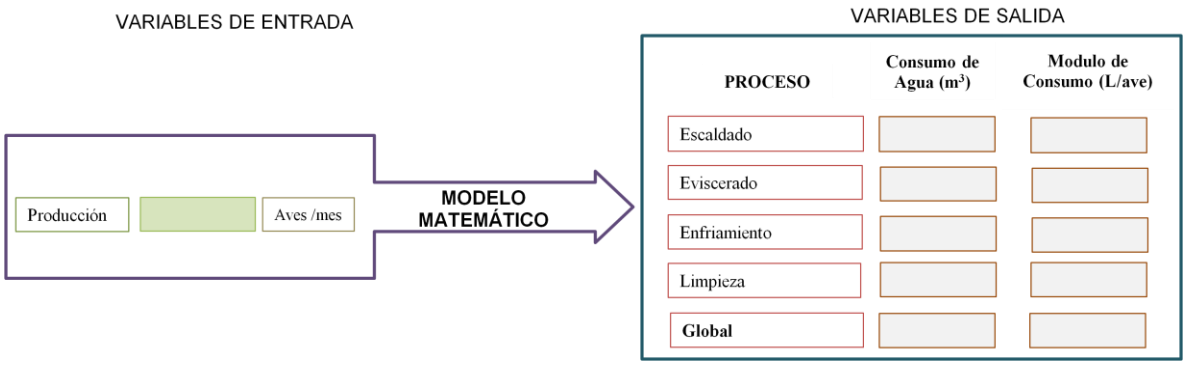


Como se muestra en las Figuras 22 a 25 se puede inferir que el modelo se ajusta a los datos encontrados debido a que el sector de sacrificio de aves se encuentra estandarizado gracias a las exigencias higiénico – sanitarias, por lo cual permite que sean comparables los resultados encontrados entre las empresas y poder generar un modelo que permite calcular el módulo de consumo de agua específico para cada empresa, cabe mencionar que estos modelos funcionan solo con producciones que se encuentren dentro del rango estudiado.

El objetivo de cada uno de los cuatro modelos obtenidos es contar con una herramienta que permita realizar la estimación del módulo de consumo de agua para las empresas de sacrificio de aves y poder determinar las etapas de mayor consumo de agua y así poder tomar acciones para tener un uso eficiente del mismo, con base en la información de producción, como se muestra en la

Figura 3-17.

Figura 3-17. Herramienta cálculo de consumo de agua



- ***Procesamiento de productos cárnicos***

Se corroboró a través del análisis de Pearson ($p<0.05$) que el consumo de agua para cada una de las etapas se correlaciona con la producción, como se muestra en la Tabla 3-17.

Tabla 3-18. Matriz de la correlación de Pearson para los procesos en estudio

	Consumo agua		
	Cocción	*Enfriamiento*	*Limpieza*
Producción	0.999*	0.998*	0.999*

*Nivel de significancia p<0,05.

Teniendo en cuenta los resultados del análisis de correlación de Pearson, se buscó determinar un modelo matemático que permitiera establecer el módulo de consumo de agua en función de los parámetros medidos.

Consumo de Agua = f (producción)

Módulo de Consumo = f (Consumo de agua, producción)

Donde:

Producción = Toneladas de producto durante un mes

Consumo de Agua = m^3 de agua

Para obtener esta relación, como en el caso anterior, se graficó el consumo de agua vs producción, encontrando correlaciones con R^2 mayores a 0.9 debido que se presenta dos grupos, uno con producciones entre 8 a 100Ton/mes y otro con producciones mayores a 200 Ton/mes, lo cual

genera una correlación completamente lineal, pero no refleja el comportamiento real del consumo de agua, por lo cual se decidió eliminar los 12 datos correspondientes a ésta empresa.

Nuevamente se realizaron las respectivas gráficas, encontrando en todos los casos correlaciones menores a 0.8, por lo cual se decidió aplicar el Criterio de Chauvanet, donde se identificaron que 15 de los 84 datos no eran confiables, luego del análisis de cada uno de los datos se eliminaron 7, debido a que eran picos de agua que no correspondía al comportamiento normal de la empresa en los meses evaluados.

Aunque, a pesar de que no se encontró correlaciones mayores a 0.8, se presenta a continuación el modelo para cada una de las etapas del proceso de producción de productos cárnicos que implican consumo agua

a. Cocción

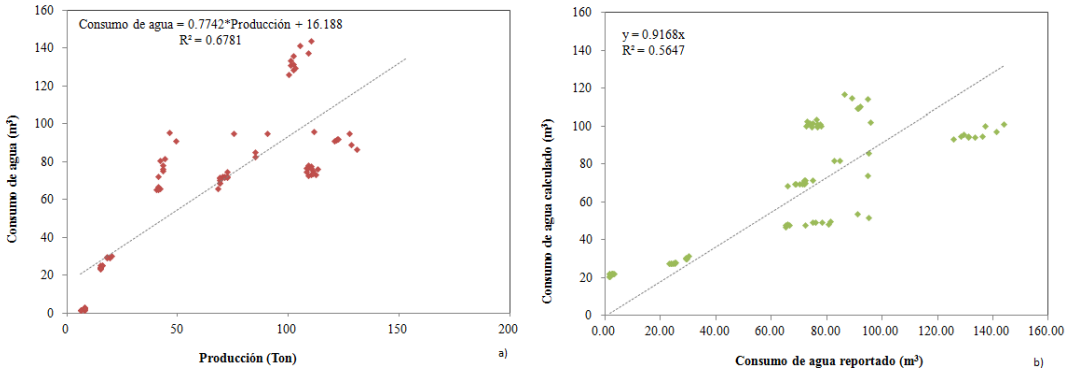
$$Consumo\ de\ Agua = 16.188 + 0.7742 * \Pr oducción$$

$$\text{Modulo de consumo} = \frac{16.188 + 0.7742 * \Pr oducción}{\text{Producción}} * 1000$$

Para determinar las bondades del modelo, se muestran a continuación las pruebas estadísticas que indican el nivel del ajuste:

- Coeficiente de correlación múltiple: 0.678
- Coeficiente de determinación ajustado: 0.674%
- Estadístico de Durbin-Watson = 0.370302

Figura 3-18. a) Correlación consumo de agua vs producción b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de cocción



b. <u>Enfriamiento</u>

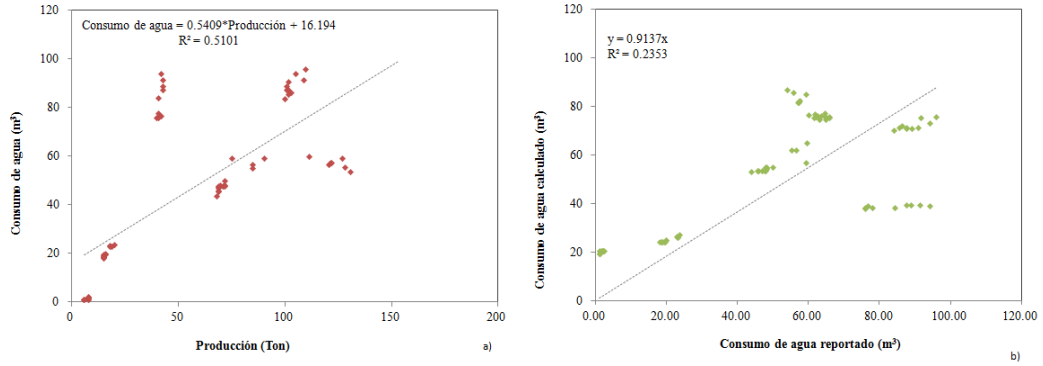
$$Consumo\ de\ Agua = 16.194 + 0.5409 * \Pr oducción$$

$$\text{Modulo de consumo} = \frac{\left(16.194 + 0.5409 * \Pr oducción\right)}{\text{Producción}} * 1000$$

Para determinar las bondades del modelo, se muestran a continuación las pruebas estadísticas que indican el nivel del ajuste:

- Coeficiente de correlación múltiple: 0.510
- Coeficiente de determinación ajustado: 0.505
- Estadístico de Durbin-Watson = 0.411918

Figura 3-19. a) Correlación consumo de agua vs producción b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de enfriamiento



c. <u>Proceso de limpieza</u>

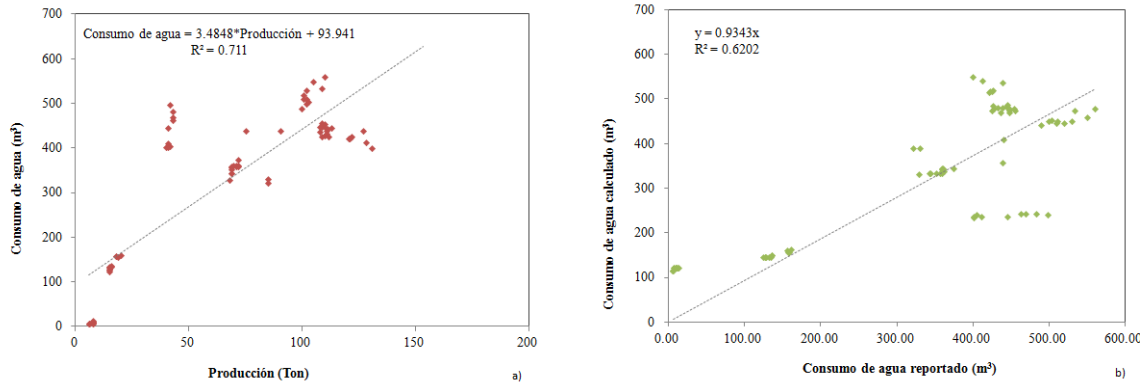
$$Consumo\ de\ Agua = 93.941 + 3.4848 * \Pr oducción$$

$$\text{Modulo de consumo} = \frac{(93.941 + 3.4848 * \text{Producción})}{\text{Producción}} * 1000$$

Para determinar las bondades del modelo, se muestran a continuación las pruebas estadísticas que indican el nivel del ajuste:

- Coeficiente de correlación múltiple: 0.711
- Coeficiente de determinación ajustado: 70.72%
- Estadístico de Durbin-Watson = 0.366819

Figura 3-20. a) Correlación consumo de agua vs producción b) Correlación entre datos obtenidos del modelo vs datos experimentales en la etapa de limpieza



Como se muestran en las Figuras 27 al 29 los valores de correlación indican un nivel de ajuste menor a 0.8 mostrando que con la información recopilada no es posible establecer un modelo matemático simple que permita correlación del consumo de agua con los niveles de producción, debido a que cada una de las empresas visitadas elaboran diferentes productos entre sí, lo que no permite establecer un estándar general para el sector.

Con base en esta experiencia, el desarrollo de los módulos de consumo en estos casos, debe desarrollarse por producto y no por línea de proceso, ya que en una misma línea se puede elaborar distintos productos que requieren menores consumos de agua para producir una misma cantidad de producto, esto se evidencia en las gráficas de correlación entre consumo de agua y producción, donde se muestra que para un mismo nivel de producción hay diferentes consumos de agua.

3.4.4 Calculo del módulo de consumo óptimo de referencia

Para el cálculo del módulo de consumo óptimo de referencia se empleó la metodología descrita por Ríos, Escobar *et al*. (2010) que consiste en establecer una correlación entre la cantidad de agua consumida y el nivel de producción, donde la pendiente de la ecuación obtenida con corte en (0,0) corresponde al módulo de consumo óptimo.

Para el proceso de sacrificio de aves se presenta en la

Figura 3-21 la correlación entre el consumo de agua en Litros y la producción como número de aves sacrificadas para las cuatro etapas del proceso: escaldado, eviscerado, enfriamiento y limpieza, empleando los datos utilizados para el cálculo del modelo matemático.

Figura 30 (i). Relación consumo de agua y producción en las etapas a) Escaldado b) Eviscerado

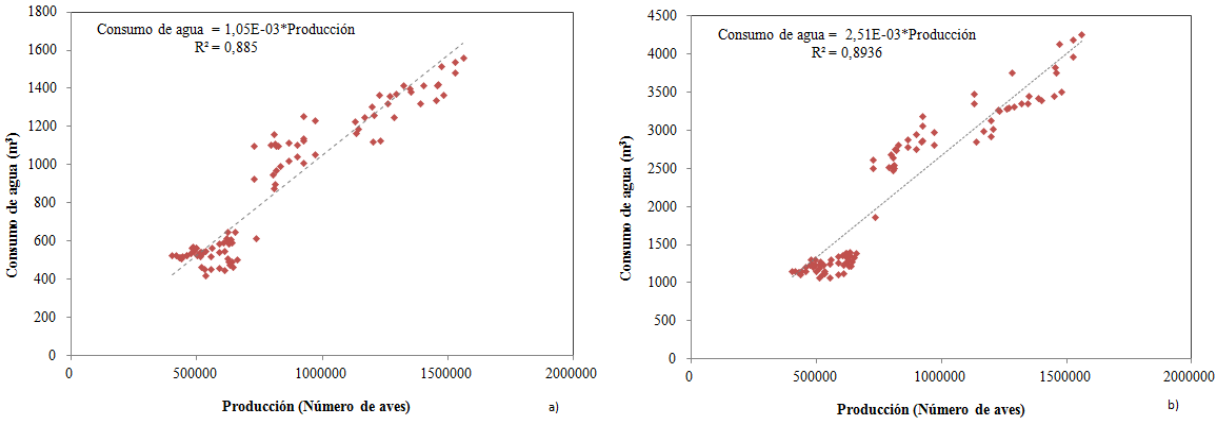
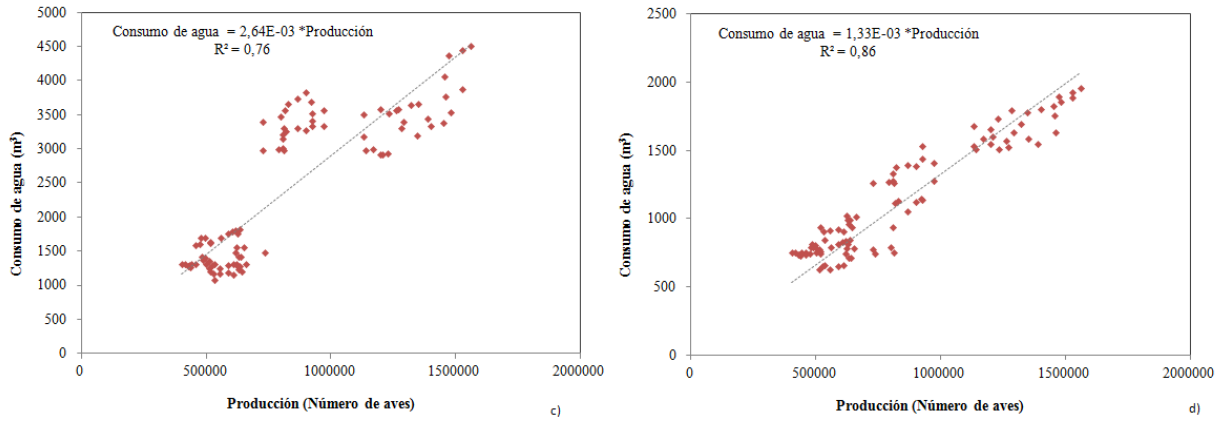


Figura 3-21. (ii) Relación consumo de agua y producción en las etapas c) Enfriamiento d) Limpieza



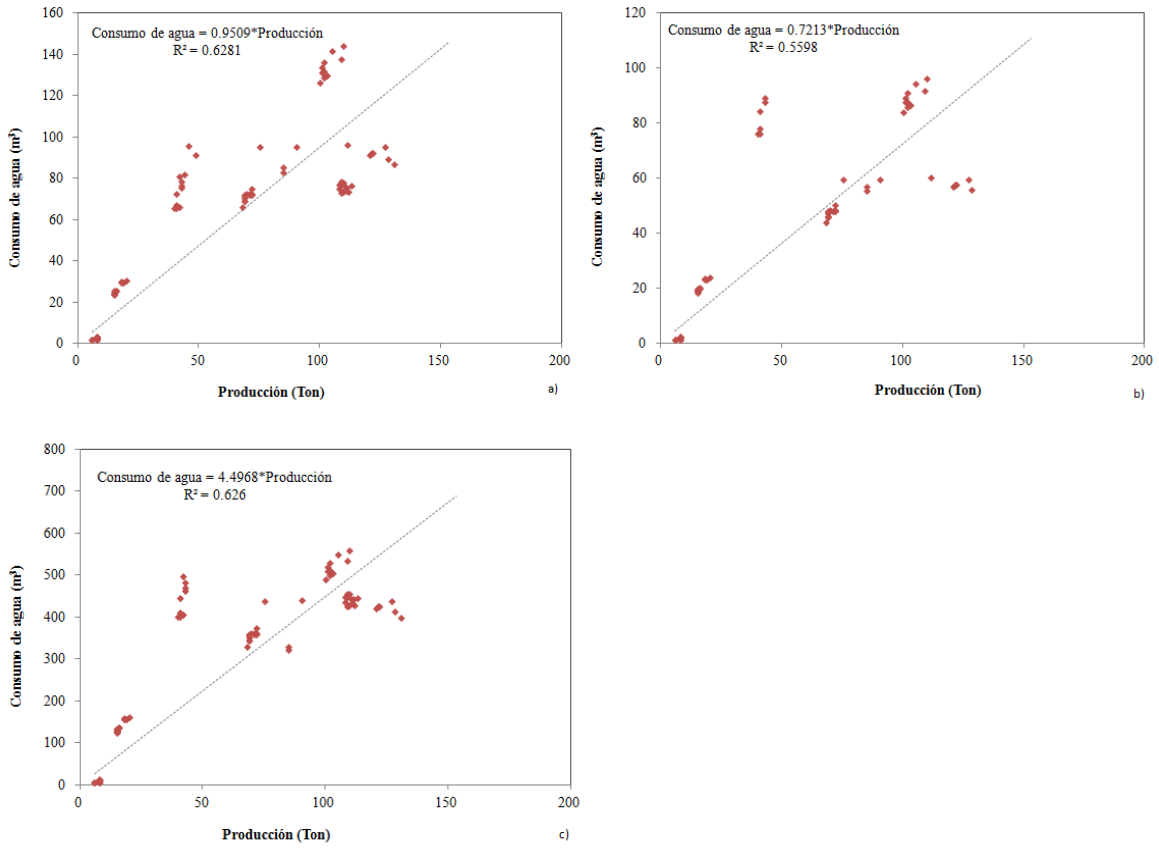
En la Tabla 3-19 se presentan los módulos de consumo óptimo de referencia para el proceso de sacrificio de aves, encontrando un módulo de consumo global de 7,53 L/Ave, el cual es muy cercano a los valores reportados por la literatura para el caso de España (Tabla 3-15).

Tabla 3-19. Módulos de consumo óptimos para el Sacrificio de Aves

Actividad	**Módulo de consumo optimo (L/Ave)**	**R^2**
Escaldado	1.05	0.885
Eviscerado	2.51	0.893
Enfriamiento	2.64	0.760
Limpieza	1.33	0.860
Global	*7.53*	

Para el caso del procesamiento de cárnicos se realizó el mismo procedimiento de construir las gráficas de consumo de agua en m^3 frente al nivel de producción en toneladas de producto para las tres etapas del proceso: cocción, enfriamiento y limpieza (Figura 3-22).

Figura 3-22. Relación consumo de agua y producción en las etapas a) Cocción b) Enfriamiento c) Limpieza



En este caso se encontró que las correlaciones son bajas (R^2 menor a 0.8), esto se debe a que cada una de las empresas visitadas desarrolla dentro de su proceso productivo una gran variedad de productos finales como, salchichón, salchichas, jamón, mortadela, cocidos y enlatados, por lo cual se puede inferir que los datos presentan una alta heterogeneidad que no permiten realizar generalizaciones en etapas similares.

Tabla 3-20. Módulos de consumo óptimos para Productos cárnicos procesados

Actividad	**Módulo de consumo optimo (m^3/Ton)**	**R^2**
Cocción	0.95	0,6281
Enfriamiento	0.72	0,5598
Limpieza	4.50	0,6260
Global	6.17	

Pese a que no se encontraron correlaciones mayores a 0.8 para los dos casos en estudio, estos módulos de consumo óptimos de referencia permiten al industrial medir el grado de desviación que

tiene en cada una de las etapas del proceso con respecto al ideal determinado en este estudio, de manera que el industrial pueda iniciar la búsqueda de alternativas para disminuir sus consumos de agua y optimizar sus procesos.

Con base en los módulos de consumo óptimos de referencia, en las Tablas 30 y 31 se compara el valor de referencia con el promedio de los módulos de consumo calculados para cada una de las empresas visitadas, siendo este el valor real de módulo de consumo en el distrito. Para el caso de la actividad de Sacrificio de aves hay una gran similitud entre los módulos encontrados para las etapas de escaldado y eviscerado, y en el módulo global se evidencia que actualmente presentan un consumo mayor de agua que el de referencia, por lo cual deben implementar mecanismos de ahorro y uso eficiente del agua.

Tabla 3-21. Módulos de consumo óptimos y el promedio de módulos de consumo reales para sacrificio de aves

	Módulo de consumo de agua (L/ave)				**Módulo de consumo global (L/ave)**
	Escaldado	**Eviscerado**	**Enfriamiento**	**Limpieza**	
Promedio Real	1.05±0,06	2,58±0,17	2,89±0,19	1,23±0,09	*7,75±0,51*
Óptimo de referencia	1.05	2.51	2.64	1.33	*7.53*

Para la actividad de procesamiento de productos cárnicos, en las tres etapas hay una diferencia entre los módulos, lo cual indica que esta actividad debe generar estrategias para optimizar sus consumos de agua implementando medidas efectivas para la reducción del uso del agua.

Tabla 3-22. Módulos de consumo óptimos y el promedio de módulos de consumo reales para productos cárnicos procesados

	Módulo de consumo de agua (m^3/ton)			**Módulo de consumo global (m^3/ton)**
	Cocción	**Enfriamiento**	**Limpieza**	
Real	1,055±0,07	0,86±0,06	5.37±0,38	7.285±0,51
Óptimo de referencia	0.95	0.72	4.50	6.17

Cabe mencionar que por la propia naturaleza de las actividades que se realizan en las plantas de sacrificio de aves y de procesamiento de productos cárnicos es inevitable el consumo de agua. El agua se emplea en su mayor parte en las operaciones de limpieza y desinfección de equipos, instalaciones y utensilios de trabajo, así como en el lavado de las aves. De acuerdo a lo evidenciado a lo largo del trabajo, para la etapa de limpieza y desinfección de las instalaciones, la superficie del suelo es un factor muy importante ya que para mantener unas adecuadas condiciones higiénicas es necesario su lavado y desinfección frecuente, independientemente del número de aves sacrificadas ó las toneladas de producto elaborado. Es decir las necesidades de agua de limpieza y desinfección de la zona de producción al final de la jornada, no son tan dependientes de la cantidad de aves sacrificadas ó toneladas de producto como del tamaño de la superficie de las instalaciones.

Las posibilidades de reducción del consumo de agua mediante ahorros directos o a través de la reutilización de corrientes residuales internas estarán siempre limitadas al cumplimiento de las estrictas especificaciones de higiene que garantizan la calidad y seguridad alimentaria de los productos cárnicos.

Para el caso de las instalaciones de sacrificio de aves, las etapas de mayor consumo de agua son las de eviscerado y enfriamiento debido a que las plantas de beneficio, constituyen uno de los eslabones de la cadena de productos cárnicos, donde el cumplimiento de normas sanitarias y de seguridad son imprescindibles, así como también la garantía de ofrecer productos finales con la frescura y calidad exigida por los consumidores.(Meleán-Romero et al., 2008). En estas etapas existen pocas alternativas de ahorro y uso eficiente del agua que permitan tener un equilibrio con los requerimientos de calidad.

Por lo anterior, en este tipo de instalaciones se debe apuntar a otros puntos de consumo para disminuir los módulos de consumo de agua globales, algunos autores como AINIA (2000) Casani and Knøchel (2002), MinAmbiente de España (2006) , CAR/PL (2006), y Matsumura and Mierzwa (2008) recomiendan algunas técnicas para disminuir el consumo de agua, las cuales pueden ser aplicadas en las empresas ubicada en el distrito:

- Minimización del riesgo de vertido accidental de sangre en el área de producción mediante acondicionamiento de los tanques de almacenamiento
- Eliminación de tomas de agua innecesarias de la línea de sacrificio
- Utilización de sistemas de agua a presión con dispositivos de cierre y chorro regulable para la etapa de limpieza
- Escaldado por duchas ó escaldado por condensación de vapor
- Evitar y/o minimizar el enjuague de las canales, utilizando técnicas limpias de evisceración
- Recuperación de agua de enfriamiento
- Control y registro de los consumos de agua y agentes de limpieza consumidos

En el caso de los productos cárnicos procesados el mayor módulo de consumo de agua por etapa se presenta en los procesos de limpieza, seguido por la cocción, debido a que éste proceso se realiza en la mayoría de empresas por inmersión en agua caliente. De acuerdo con AINIA (2000) MinAmbiente de España (2006) y CAR/PL (2006), se pueden implementar las siguientes alternativas para disminuir el consumo de agua en la etapa de cocción.

- La cocción se puede realizar en cámaras que actúan como hornos de cocción, en las que se someten los productos a la acción de aire caliente húmedo, de forma que se produce, de este modo la coagulación de las proteínas. No obstante, este sistema presenta una limitación: sólo se puede aplicar a productos cocidos en molde o tripa artificial. Los sistemas de cocción con vapor incrementan la capacidad de producción y no generan aguas residuales.
- Instalación de sistema de cocción y enfriamiento en continuo, los cuales consisten en realizar la cocción y enfriamiento en el mismo depósito aislado por inmersión en agua a temperatura controlada, lo que garantiza en todo momento la rapidez y homogeneidad de todos los tratamientos térmicos. El agua suministrada proviene de tanques de almacenamiento que se mantienen a temperatura constante. Generalmente, se dispone de tres depósitos que aportan agua a 80 ºC para la cocción, 15 ºC para el enfriamiento previo, y 1 ºC para el enfriamiento final, consiguiéndose temperaturas en el interior del producto de 65 ºC, 35 ºC y 5 ºC, respectivamente. Para la higienización del agua recirculada en el sistema de cocción en continuo y alargamiento de su vida útil, se recomienda la instalación de filtros, rayos UV o tratamiento con ozono.

Para la reducción del consumo de agua en la etapa de enfriamiento se recomienda la utilización de sistemas mixtos de enfriamiento de los productos cocidos con agua y aire frío, se consigue reducir el consumo de agua y la generación de aguas residuales. La utilización de aire para enfriar presenta el inconveniente de que la transferencia térmica entre el aire y el producto es baja, por lo que se puede alargar el tiempo de enfriamiento. Esto se contrapone con la necesidad de conseguir una rápida disminución de la temperatura para que no proliferen los microorganismos (CAR/PL, 2006).

Cómo se ha mencionado a largo del presente trabajo, una de las etapas críticas en el consumo de agua son las actividades de limpieza y desinfección de las áreas y utensilios. Por tanto, a continuación se presentan algunas recomendaciones presentadas por AINIA (2000), MinAmbiente de España (2006) y CAR/PL (2006) para disminuir el consumo de agua. Estas recomendaciones pueden ser aplicadas tanto en plantas de sacrificio de aves como en plantas de procesamiento de cárnicos

Actividad	
Remoción en seco de los residuos sólidos antes de la limpieza del suelo	La remoción en seco mediante barrido de los sólidos que quedan sobre la superficie del suelo, plataformas, mesas o equipos, es la mejor forma de reducir el consumo de agua y la generación de agua residual de las limpiezas en húmedo. Una vez retirados los sólidos de las superficies a limpiar, la cantidad necesaria de agua, detergentes y desinfectantes, será menor, al igual que el volumen y carga contaminante de las aguas residuales generadas
Control del consumo de agua	La gestión del consumo del agua se puede optimizar mediante el control de indicadores ambientales, que relacionan los consumos y vertidos de aguas residuales con la producción. Estos indicadores reflejan la evolución temporal y permiten apreciar el efecto de las medidas adoptadas en términos económicos y ambientales, permitiendo identificar áreas o aspectos donde es posible realizar mejoras. La utilización de indicadores permite detectar desviaciones significativas respecto a los valores normales de consumo, como consumos innecesarios, accidentes, fugas o fallos en los procesos. Para obtener los indicadores de consumo de agua, hay que conocer su distribución en las distintas secciones del establecimiento mediante la instalación de contadores distribuidos estratégicamente. Sólo por instalar medidores y realizar una lectura periódica, se estima un ahorro

Actividad	
	potencial de entre el 5 y el 10 %.
Minimización del consumo de agua en las limpiezas	En las operaciones de limpieza, debido en algunos casos a la excesiva separación entre las tomas de agua, los operarios se ven obligados a hacer desplazamientos cada vez que cambian de zona de limpieza. Para evitar el gasto innecesario de agua y optimizar mediante pequeñas inversiones, como la incorporación de mecanismos de control: boquillas, accionamientos de cierre en mangueras, modificación de maquinaria o cambio de bombas, con grandes inversiones, como la adquisición de equipos específicos para la limpieza.
Sistemas avanzados de limpieza de utensilios	El uso de equipos de limpieza automáticos permite reducir el consumo de agua y productos de limpieza o desinfección con respecto a los métodos tradicionales, ya que es posible la aplicación de presiones más elevadas y la recirculación de las soluciones de limpieza. Según la cantidad y homogeneidad de los utensilios a lavar, estos sistemas pueden ser continuos (túneles para gran número de piezas de tamaño homogéneo a lo largo de periodos relativamente continuos) o discontinuos (armarios/cabinas automáticas).
Tiempo de aplicación de espumas y desinfectantes .	Los tiempos de aplicación de detergentes y desinfectantes se deben calcular según lo que se define en los protocolos establecidos, con el fin de llevar a cabo una higienización eficaz y un consumo menor de agua
Prevención de goteos	Todos los recipientes y contenedores que almacenan productos cárnicos que pueden generar lixiviados, sangre, etc., deben ser recogidos para evitar el derrame o goteo de líquido en el suelo.

3.5 Línea Metodológica para Estimar los Módulos de Consumo de Agua para los Sectores Productivos[1]

[1] Este apartado hace parte de la cartilla divulgativa "*Guía Metodológica para la estimación de los módulos de consumo de agua Industrial*" que será publicada en el mes Noviembre del 2011 por la SDA

Esta línea metodológica se desarrolla en siete fases, las cuales detallan la ruta a seguir para la estimación de los módulos de consumo de agua, como se muestra en el siguiente esquema.

Figura 3-23. Esquema de la línea metodológica

A continuación se describen cada una de las fases.

1. ***Definición del sector y subsector productivo***

   La Autoridad Ambiental a través de la consolidación de información reportada en sus actividades de evaluación, seguimiento, control y vigilancia de los usuarios que utilizan el recurso hídrico en su Jurisdicción, identifica los sectores con un mayor nivel de consumo de agua y la elección del sector a evaluar se define conforme al plan estratégico y las políticas internas de la institución.

   Para la definición del subsector productivo, se realiza una revisión general de la información con que cuenta la Autoridad Ambiental en relación a consumos de agua, producción, concesión de aguas, generación de vertimientos, inscripción del departamento de gestión ambiental, impactos generados por el sector en tema de consumo de agua y generación de vertimientos, entre otros. Las fuentes de información puedes ser: bases de datos de empresas generadoras de vertimientos y concesiones de aguas subterráneas y cuerpos superficiales, expedientes, conceptos técnicos en temática de vertimientos y concesiones de aguas, diagnósticos sectoriales, entre otros.

Con la información recopilada se genera una matriz de priorización que involucre variables ambientales, de gestión y económicas, las cuales pueden ser cuantitativas y cualitativas. En la Tabla 3-23 se presenta un modelo de los criterios de evaluación y sus descriptores.

Tabla 3-23 Descriptores de evaluación

Criterio de evaluación	**Puntaje Subjetivo**			
	0	**1**	**2**	**3**
Índice de consumo de agua (m^3/Ton)	NA	Menor a 5	Entre 5 y 10	Mayor a 10
Numero concesiones de aguas subterráneas	No hay concesión	Menor a 5	Entre 5 y 10	Mayor a 10
Utilización de aguas lluvias	Utilizan			No utilizan
Impacto ambiental por los vertimientos generados	No genera vertimientos	Bajo	Medio	Alto
Número de empresas identificadas en la SDA (entre el 2008 – 2010)	NA	Mayor 50	Entre 50 – 100	Mayor a 100
Consideración ambiental – Implementación de programas ambientales	Se evidencia	NA	NA	No se evidencia

2. Caracterización del subsector

Definido el subsector se realiza un análisis minucioso de los expedientes y conceptos técnicos recientes en el tema de vertimientos con el fin de conocer de manera detallada los productos, procesos productivos, nivel tecnológico, número y tamaño de las empresas, y poder definir el nivel de homogeneidad de la población en estudio.

Con la información secundaria recopilada hasta el momento, se clasifican las empresas primero de acuerdo a los productos elaborados, y luego por proceso productivo. Con esta clasificación se generan grupos de estudio que permite identificar de manera sencilla y clara las variables que rigen el consumo de agua en cada una de las etapas de proceso.

3. Selección de la muestra

Para calcular un indicador de cobertura se puede utilizar la prueba de T.-STUDENT, donde se asume que la población esta normalmente distribuida. El tamaño de la muestra se calcula utilizando la ecuación 1, con un nivel de confianza del 95% (1.96), grado de error de 0.05, una probabilidad de ocurrencia y de no ocurrencia del 0.5.

$$n = \frac{(Z^2 pqN)}{(Ne^2 + Z^2 pq)}$$ Ecuación (1)

Donde

n es la Muestra

N es la Población

Z es el Nivel de Confianza

p es la Probabilidad de ocurrencia

e es el Grado de error

q es la Probabilidad de no ocurrencia

4. Recopilación de información primaria

Antes de iniciar el proceso de recolección de información primaria, se debe realizar una reunión con las empresas identificadas para cada uno de los grupos de trabajo definidos, con el fin de dar conocer el proyecto a desarrollar y las ventajas que traen al sector el contar con indicadores de referencia que permitan evaluar los consumos de agua y las posibles oportunidades de mejora que se pueden ver reflejadas en aspectos económicos. De tal manera que se pueda contar con el apoyo de las empresas de manera concertada, haciendo de este un proceso participativo, a fin de no tener que recopilar la información de forma policiva, lo cual puede influir en la veracidad de la información suministrada.

Para iniciar la etapa de visitas técnicas, se procede a realizar de forma aleatoria la selección de las empresas a visitar teniendo en cuenta el tamaño muestral definido anteriormente. A continuación se contacta vía telefónica o mediante oficio a cada empresa seleccionada para concertar la visita técnica con la persona encargada del área ambiental.

En esta reunión se diligencia un acta de visita de acuerdo con el formato sugerido en el Anexo**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, donde se recopila información en relación a: diagrama de flujo del proceso productivo identificando claramente los puntos de entrada y salida de agua, nivel de consumo de agua y producción del último año, número de

trabajadores, horas y días laborados, balances de agua, sistemas de ahorro y uso eficiente de agua, entre otros. Esta información se almacena en una hoja de cálculo para su análisis.

Con la información recopilada se identifican los siguientes ítems:

a. Identificar similitudes y diferencias en los procesos de producción
b. Comparar el nivel de consumo de agua y de producción entre las empresas, a través de un análisis gráfico y estadístico empleando las pruebas ANOVA y Tukey con un $p<0,05$.
c. Identificar los tipos de sistemas de ahorro y uso eficiente de agua junto con las prácticas de ahorro de agua
d. Establecer las etapas de consumo agua en el proceso, a fin de definir los puntos susceptibles de micromedición
e. En caso de poderse realizar micromediciones, ya sea por cuenta del empresario o de la autoridad ambiental, definir los métodos de medición apropiados de acuerdo con los equipos y el tipo de proceso, si es unitario, por lotes o continuo.

Dentro de los sistemas de medición disponibles están: contador, aforo volumétrico, cubicación, vertedero, correntómetro, flotador.

5. Balance de agua

De acuerdo con el nivel de información disponible el balance de agua se puede realizar de dos formas.

a. Con micromediciones

Con base en la identificación de los puntos de medición se realiza una campaña de muestreo con el fin de recopilar el mayor número de datos posibles de consumo de agua y producción por etapa, mínimo 12 datos. Junto a la medición de consumo de agua se debe medir el tiempo de duración del proceso de la etapa de producción proceso y el número de operarios, con el fin de conocer velocidades de línea y/o nivel tecnológico de cada etapa.

La información recopilada se almacena en una hoja de cálculo para cada una de las etapas los consumos de agua, la producción y los tiempos de proceso, para el cálculo de los módulos de consumo. Una de las ventajas de realizar micromediciones es que el balance de agua se realiza con datos reales de consumo, teniendo así un menor grado de incertidumbre en los datos adquiridos.

b. Balance de agua inicial

Con la información que cuenta la empresa como capacidades de los equipos, formulaciones y/o características propias de la etapa se realiza el balance de agua. El balance de agua se esquematiza en la Figura 3-24.

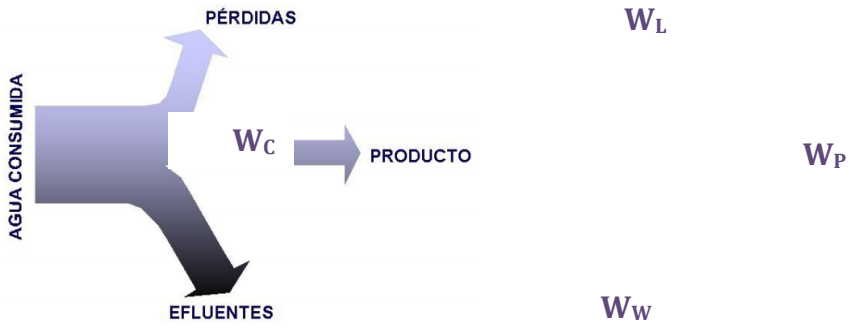


Figura 3-24. Esquema de balance de agua por etapa

El balance hídrico de la etapa se puede expresar matemáticamente como:

$$W_C = W_L + W_P + W_W$$

Siendo:

W_C: Total de agua consumida

W_L: Agua pérdida en el proceso productivo (evaporación, fugas, derrames, etc.)

W_W: Agua residual generada en el proceso de producción

W_P: Agua incorporada en el proceso

Así como en el caso de la micromedición, se debe levantar la información en función de los tiempos de proceso y el número de operarios por etapa con el fin de conocer velocidades de línea y/o nivel tecnológico de cada una.

6. Definición de las variables que influyen en el consumo de agua

Para poder formular un modelo, es necesario identificar en lo posible el mayor número de datos fidedignos de cada etapa e identificar las variables que rigen el consumo de agua como: cantidad de producto, tiempo de proceso, porcentaje de reciclo ó reúso de agua, entre otras y establecer las consideraciones específicas para cada etapa, de manera tal que representen plenamente el fenómeno en estudio, pero al mismo tiempo lo simplifiquen suficientemente para que junto con las condiciones y restricciones, éste pueda finalmente modelarse matemáticamente. Una buena definición de las variables permite obtener ecuaciones que relacionen los datos del fenómeno con las variables definidas.

7. Modelo matemático

- *Modulo óptimo de referencia*

Con los datos de consumo de agua medido por etapa y el nivel de producción se busca determinar una expresión matemática que describa la relación entre la cantidad de agua consumida y el nivel de producción. Los resultados se representan en un gráfico donde aparece la producción en el eje de las ordenadas (Eje x) y el consumo de agua en las abscisas (Eje y). Como no se cuenta con niveles de consumo base, el módulo de consumo es la pendiente de la ecuación con corte en la intercepción (0,0).

Si el nivel de correlación es menor a 0.8, se debe hacer una revisión de los datos para identificar aquellos datos no confiables que pueden influir en el valor del módulo. De lo contrario el dato de pendiente obtenido corresponde al módulo óptimo de referencia de consumo, este procedimiento se debe realizar para cada etapa del proceso.

Para la verificación de la validez de un dato, se debe realizar un análisis grafico del comportamiento de éstos, con el fin de identificar datos no confiables, los cuales se deben contrastar con las observaciones levantadas en las visitas. Lo anterior con el objeto de descartar aquellos datos que durante su levantamiento presentaron anomalías en su captura. Este proceso de eliminación de datos se puede apoyar de herramientas estadísticas, como por ejemplo el Criterio de Chauvenet.

El Criterio de Chauvenet se determina calculando la media y la desviación estándar (típica) de los datos de producción y consumo de agua. Luego para cada dato se calcula la diferencia entre el valor y la media, y si este resultado es mayor a 2 veces la desviación estándar, el dato dudoso y se puede descartar. Sin embargo además de este criterio, se debe revisar la veracidad de esa información y determinar si es viable descartar el dato o no. Máximo se puede descartar el 10% de los datos.

- *Modelo matemático de estimación de Módulos de consumo de agua*

En este tipo de procesos, no existe una ley o principio físico que permita formular un modelo matemático general, por tanto se construye un modelo matemático empírico, el cual se sustenta exclusivamente en los datos recopilados, de manera que se establece un modelo de regresión simple ó múltiple que ajuste los datos.

Teniendo en cuenta la variable dependiente y las independientes identificadas anteriormente para cada uno de las etapas de proceso, se procede a organizar en una tabla los datos recopilados de cada una de estas variables para las empresas participantes en el estudio, a fin de identificar algunos patrones matemáticos de comportamiento. La variable dependiente '*Consumo de agua*' y las independientes deben ser cuantitativas, en caso de tener variables categóricas, se debe recodificar como variables binarias. Se recomienda utilizar estadística no paramétrica con el fin de generar modelos sencillos y de fácil aplicación y análisis.

La relación entre la variable dependiente '*Consumo de agua*' y cada variable independiente debe ser lineal y todas las observaciones deben ser independientes, para lo cual se procede a realizar una prueba de correlación de Pearson que consiste en medir la relación lineal entre dos variables cuantitativas.

El coeficiente de correlación de Pearson está definido por la siguiente expresión:

$$r_{xy} = \frac{\sum Z_x \, Z_y}{N}$$

Este coeficiente presenta valores entre 1 y -1, en el primer caso la relación es perfecta positiva y en el segundo perfecta negativa. Luego se debe determinar el nivel de significancia, a través de una ensayo de probabilidad mediante una prueba de t-student, donde valores de $p<0.05$, indican que las variables están correlacionadas.

Al corroborar que las variables si se correlacionan, se procede a determinar el modelo de regresión lineal múltiple empleando algún paquete estadístico como: Minitab®, SPSS® y Statgraphics®, o a través de una hoja de cálculo utilizando el método de mínimos cuadrados.

El modelo tiene la siguiente estructura matemática

$$Y = \beta_o + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + ... + \beta_n * X_n$$

Donde:

Y es el Consumo de agua (unidades de volumen)

β_0 es el Intercepto

β_1 es la Pendiente del predictor X_1

β_2 es la Pendiente del predictor X_2

β_n es la Pendiente del predictor X_n

X_1, X_2 y X_n: son las variables independientes que permiten predecir el consumo de agua para cada una de las etapas de proceso involucradas.

Para cada modelo se debe determinar los parámetros que indican las bondades del modelo, dentro de estos parámetros se tienen: coeficiente de determinación, R^2 ajustado, error típico de la estimación, tabla de análisis de la varianza. Además, intervalos de confianza al 95% para cada coeficiente de regresión, matriz de varianza-covarianza, tolerancia, prueba de Durbin-Watson, diagramas de dispersión, histogramas y gráficos de probabilidad normal.

El Coeficiente de determinación, indica el porcentaje de la varianza de la variable dependiente que es explicado por el modelo de regresión. Estos valores de R^2 se pueden clasificar de la siguiente manera.

Valor del coeficiente	**Nivel de correlación**
$R^2 < 0.3$	Muy malo

$0.3< R^2<0.49$	Malo
$0.5< R^2<0.79$	Regular
$0.8<R^2<0.89$	Bueno
$0.9< R^2<0.99$	Excelente
$R^2= 1$	Perfecta

Para cada una de las etapas de proceso, se debe determinar el modelo de regresión simple ó múltiple para calcular el nivel de consumo de agua. Con los datos obtenidos se estima el módulo de consumo de agua por etapa de proceso de acuerdo con la siguiente expresión.

$$Modulo\ de\ consumo = \frac{Consumo\ de\ Agua\ en\ f(\text{var}iables\ independientes)}{Nivel\ de\ producción}$$

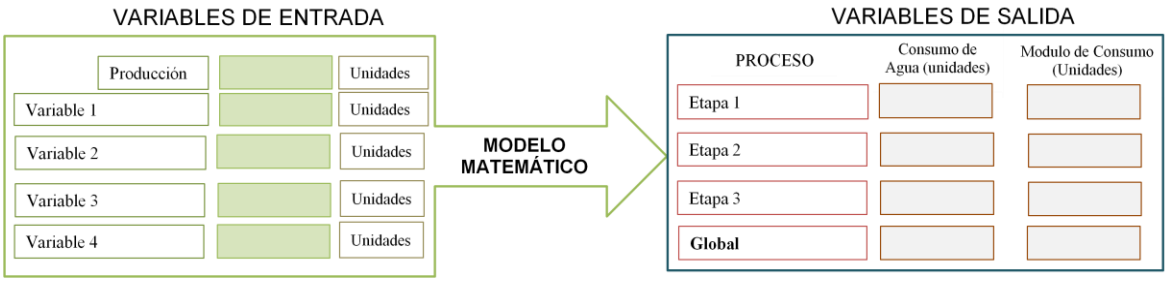
Se debe hacer una validación del modelo determinado, para lo cual se estiman los valores de consumo de agua y de módulo de consumo teniendo en cuenta la regresión múltiple obtenida y la expresión de cálculo del módulo. Luego se grafica los datos calculados con el modelo en función de los valores teóricos, y se determina el nivel de correlación lineal entre los datos, valor que debe ser superior a 0.8 para poder indicar un nivel de ajuste bueno del modelo. El cálculo del consumo de agua y el módulo de consumo global del proceso, se determina sumando los valores correspondientes de cada una de las etapas de proceso identificadas.

$$Consumo\ de\ Agua\ \ Global = \sum_{Etapa=1}^{Etapa=n} Consumo\ de\ Agua$$

$$Modulo\ de\ Consumo\ de\ Agua\ \ Global = \sum_{Etapa=1}^{Etapa=n} Modulo\ de\ Consumo\ de\ Agua\ por\ etapa$$

Para finalizar se realiza una programación del modelo en una hoja de cálculo, en el cual se indiquen las variables de entrada y las variables de salida, de manera que se pueda tener una

herramienta de cálculo tanto del consumo de agua por etapa, global y los respectivos módulos de manera fácil y rápida.



El modelo matemático permite analizar el fenómeno y establecer conclusiones, que luego debe contrastarse con la situación real, ya que las conclusiones e interpretaciones basadas en el modelo deben ofrecer soluciones, explicaciones y probablemente pronósticos del comportamiento del fenómeno.

Conclusiones y recomendaciones

4.1 Conclusiones

Cómo respuesta a los objetivos propuestos en el presente trabajo y en función de los resultados encontrados en la estimación de los módulos de consumo de agua, se concluye:

- Del análisis de las variables que influyen en el consumo de agua, se estableció que una de las más significativas para la actividad de sacrificio de aves es la producción, debido a que tienen una relación directa con el consumo de agua. Caso contrario para el procesamiento de productos cárnicos, donde el nivel de producción no está directamente relacionado con el consumo de agua. Otra variable es la actividad de limpieza y desinfección de equipos, siendo una de las etapas más críticas debido a que el lavado de las áreas y equipos es indiferente al volumen de aves sacrificadas y a las toneladas de producto elaborado.

- Dada la naturaleza de la industria agroalimentaria y las normas de higiene aplicables, en este sector, se debe utilizar agua de calidad potable en todas las actividades en las que el producto entra en contacto directo o indirecto con el agua. Por lo cual otras variables que influyen en el consumo de agua son las normas de calidad y de seguridad alimentaria, con el fin de dar cumplimento a los estándares de calidad exigidos por el mercado y se deben realizar actividades extras para cumplir dichas expectativas.

- Para la actividad de sacrificio de aves, el módulo de consumo promedio de los establecimientos visitados es de 7,89 ± 0,52 L/ave, y se encontró que los mayores módulos de consumo se presentan en la etapa de enfriamiento con valores entre 2,0 y 4,4 L/ave, seguido por la etapa de eviscerado donde se consume un nivel de agua entre 1,9 y 3,3 L/ave. Estos altos niveles de consumo de agua se relacionan directamente con la garantía de la calidad

microbiológica del producto, ya que en la etapa de eviscerado, el producto entra en contacto con fluidos que pueden generar un alto nivel de contaminación y deben ser eliminados con gran volumen de agua, influyendo en el consumo global.

- El módulo de consumo para la actividad de procesamiento de productos cárnicos es de 7.29 ± 0.54, encontrando que los mayores módulos de consumo se presentan en la etapa limpieza con valores entre 1.21 y 10.9 m^3/ton. Este alto nivel de consumo de agua se relaciona con la garantía de inocuidad del producto, ya que en un día de producción se requieren de varias etapas de lavado de los equipos a lo largo de proceso de producción incrementando el volumen de agua consumido de manera independiente del nivel de producción.

- Para la actividad de sacrificio de aves se pudo establecer un modelo matemático de predicción de consumo de agua debido a que este procesos se encuentra estandarizado gracias a las exigencias higiénico – sanitarias.

- Para el caso del procesamiento de productos cárnicos se establecieron correlaciones con un ajuste menor a 0.8, mostrando que con la información recopilada no es posible establecer un modelo matemático simple que permita correlacionar el consumo de agua con los niveles de producción, debido a que cada una de las empresas visitadas elaboran diferentes productos entre sí, lo que no permite establecer un estándar general para el sector.

- Los módulos de consumo óptimo de referencia para el proceso de sacrificio de aves, es de 7,53 L/Ave, el cual es muy cercano a los valores reportados por la literatura para el caso de España (7,5 L/Ave).

- En términos generales, las empresas de sacrificio de aves y procesamiento de productos cárnicos no tienen implementados sistemas de micromedición, dificultando la determinación del agua total consumida. Así mismo no han establecido indicadores de consumo de agua que permitan realizar un seguimiento de los programas de uso eficiente y ahorro de agua.

- Los procesos de transferencia de calor y las actividades de limpieza involucran los mayores consumos de agua en el subsector cárnico, debido a las exigencias higiénico sanitarias, de calidad y salubridad de los alimentos que se elaboran, por lo cual la limpieza y desinfección

de equipos e instalaciones es una operación de suma importancia que tiene gran influencia en los módulos de consumo de agua globales.

- Empleando la información de tipo primario recopilada a través de las visitas a los establecimientos ubicados en la jurisdicción de la Secretaría de Ambiente, se logró determinar una buena aproximación en la estimación del consumo de agua requerido para las actividades de sacrificio de aves y procesamiento de productos cárnicos.

- El total de agua consumida en las etapas de sacrificio de aves se estima de acuerdo al modelo de regresión lineal, estimación que puede llegar a mejorar a medida que se aumente el número de visitas a los establecimientos de sacrificios de aves.

- Los módulos de consumo de agua calculados para las actividades de sacrificio de aves y de productos cárnicos son una buena aproximación que permite a la Autoridad Ambiental conocer la cantidad de agua de referencia que debe consumir un proceso productivo, con el fin de determinar la desviación del establecimiento respecto a los módulos de consumo óptimos de referencia.

- La línea metodológica propuesta en éste trabajo proporciona el procedimiento para el cálculo de los módulos de consumo de una manera sencilla y de fácil empleo, la cual puede ser aplicada por el industrial ó por la Autoridad Ambiental, con el fin de establecer mecanismo de control tanto de autogestión por el industrial ó policivos en el caso de la Autoridad Ambiental.

- Con base en el estudio de caso, la estimación los módulos de consumo de agua para un subsector se debe realizar para procesos industriales que cuenten con el mismo producto y procesos similares, para contar con resultados correlacionables.

4.2 Recomendaciones

Del desarrollo del presente trabajo y los resultados encontrados en la estimación de los módulos de consumo de agua, se recomienda lo siguiente:

- Evaluar la posibilidad que a través de las visitas de evaluación, seguimiento, control y vigilancia a las empresas generadoras de vertimientos se realice la recopilación de información primaria con el fin de alimentar y robustecer los modelos desarrollados en el presente proyecto.

- Socializar la línea metodológica desarrollada a través de los mecanismos de gestión empresarial con que cuenta la Secretaría de Ambiente, de manera que el industrial pueda calcular sus propios módulos de consumo, y genere mecanismos de autorregulación.

- Con base en la línea metodología desarrollada, la Secretaría de Ambiente debería continuar desarrollando proyectos que permitan determinar los módulos de consumo de agua para los sectores productivos prioritarios en el Distrito, con el fin de iniciar actividades de control sobre los programas de ahorro y uso eficiente del agua.

- Incluir a la línea metodológica desarrollada el cálculo del factor de vertimientos de agua, con el fin que la Autoridad Ambiental cuente con instrumentos técnicos para la toma de decisiones en la administración del recurso hídrico y definir criterios para cumplir con las metas de descontaminación de los ríos urbanos.

- Para una aplicación eficaz de la prevención de la contaminación, las autoridades ambientales deberían proporcionar instrumentos económicos y financieros que proporcionen incentivos a las empresas que realicen inversiones para implementar nuevos procesos, adquirir nuevos equipos y, en general, para todos aquellos proyectos con viabilidad económica que conduzcan a un ahorro y uso eficiente de agua

- Mejorar los vínculos entre las diferentes empresas, organizaciones cárnicas, instituciones y la Autoridad Ambiental para asegurar una cooperación dirigida a intercambios de experiencias entre las empresas del sector en el ahorro y uso eficiente del agua.

- El establecimiento de índices de consumo y su aplicación por parte de la Secretaría, permitiría contar con los requerimientos de agua de referencia para la asignación de concesiones de agua, acción prioritaria para hacer uso eficiente del recurso hídrico en la SDA.

A. Anexo: Encuesta desarrollada para visitas técnicas

DATOS DEL ESTABLECIMIENTO					FECHA/ HORA
RAZÓN SOCIAL:					
ACTIVIDAD DESARROLLADA:					CÓDIGO CIIU:
HORAS FUNCIONAMIENTO DÍA:				DÍAS SEMANA:	
CANTIDAD DE PRODUCCIÓN Y/O SERVICIOS:				UNIDAD:	
NÚMERO DE EMPLEADOS:				TURNOS LABORALES:	
TIPO DE PROCESO Lotes ☐ Continuo ☐					
ABASTECIMIENTO DE AGUA					
ACUEDUCTO	SI ☐		NO ☐		Consumo Total (m^3/mes): : Industrial: Domiciliario:
CARROTANQUE	SI ☐		NO ☐		Consumo (m^3/mes):
POZO	SI ☐		NO ☐		Resolución Concesión: Consumo (m^3/mes):
FUENTE HÍDRICA SUPERFICIAL	SI ☐		NO ☐		Resolución Concesión: Consumo (m^3/mes):
AGUA LLUVIA	SI ☐		NO ☐		Vol. Almacenamiento: Consumo (m^3/mes):
OTROS	SI ☐		NO ☐		¿Cual(es)?: Consumo (m^3/mes):

ETAPAS PROCESO - CONSUMO DE AGUA – UNIDAD DE PRODUCCIÓN							
Mes	*Consumo de Agua (m^3)*	*Producción mensual (_____)*		*Mes*	*Consumo de Agua (m^3)*	*Producción mensual (_____)*	
Balance Hídrico global y por etapa de proceso							

Consumo de agua de lavado:

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS (Tecnología, capacidad,

SISTEMAS DE AHORRO Y APROVECHAMIENTO DE AGUA

Tiene Recirculación	SI	☐	NO ☐	Otros sistemas de ahorro:
Lavado a Presión	SI	☐	NO ☐	

OBSERVACIONES ADICIONALES

PERSONA QUE ATENDIÓ LA VISITA		**PROFESIONAL QUE REALIZÓ LA VISITA**
NOMBRE		NOMBRE: ANA MERCEDES CASAS FORERO
CARGO		**Proyecto: Estimación del consumo requerido de agua para un subsector del sector agroalimentario de la ciudad de Bogotá.**
EMAIL		
FIRMA	TELÉFO NO	FIRMA

B. Anexo: Información sobre de consumo del sector agroalimentario

Aceites y Grasas	Bebidas	Confiterías	Congelados y Precocidos	Otros productos alimenticios	Pastas y Harinas	Productos Lácteos	Cárnicos y Subproductos		
m3/Tonelada	m3/Litro	m3/Tonelada	m3/Tonelada	m3/Tonelada	m3/Tonelada	m3/Tonelada	m3/Tonelada		
0.3635	0.0001	0.4000	0.0011	0.0004	0.0333	0.0092	0.0017	1.2589	4.8900
0.3880	0.0003	0.5294	0.0373	0.2750	0.1020	1.1709	0.0069	1.2714	5.0000
0.5200	0.0009	0.5867	0.5808	0.3000	0.1366	1.7280	0.0260	1.2813	5.0000
0.7321	0.0017	0.6444	0.8128	0.6115	0.1453	1.8634	0.0398	1.3077	5.0000
0.7450	0.0018	0.7188	0.8810	0.7264	0.1620	2.1030	0.0417	1.3200	5.1227
0.7500	0.0019	0.7238	1.3301	0.7692	0.1842	2.6300	0.0458	1.4259	5.3111
1.2000	0.0033	2.0750	2.4000	2.0510	0.2000	3.3333	0.0481	1.4444	5.5000
1.2948	0.0037	2.6667	2.8125	2.4540	0.2222	3.5000	0.0641	1.4444	5.9857
1.4180	0.0020	0.8000	1.3301	0.8275	0.2500	4.4574	0.0673	1.5000	6.0000
1.7133	0.0020	1.0625	1.4308	0.8321	0.2953	4.5500	0.0684	1.5129	6.0417
1.0016	0.0020	1.0909	1.4600	1.0256	0.3500	7.1970	0.0687	1.5625	6.0714
1.4839	0.0038	3.0769	2.8261	2.6800	0.4738	8.2604	0.0774	1.5694	6.0833
1.0640	0.0036	2.1500	2.5000	2.3263	0.6200	8.3550	0.1002	1.6250	6.4103
1.4232	0.0068	3.4017	3.0258	3.2222	0.6282	9.1250	0.1058	1.6346	6.5278
1.5000	0.0027	1.7650	2.2333	1.4127	0.7917	11.0000	0.1071	1.6413	6.5340
1.9743	0.0071	3.4091	3.1245	3.8125	0.9981	11.8795	0.1282	1.6667	6.5925
	0.0081	3.7500	3.1250	5.8000	0.9981	12.2222	0.1538	1.6667	7.0250
	0.0085	3.8125	3.3333	6.0000	1.0000	12.4708	0.1603	1.6846	7.1545
	0.0107	4.1600	3.3333	6.4000	1.0067	12.4889	0.1667	1.7000	7.2125
	0.0133	4.4872	3.4400	7.2067	1.0233	12.5161	0.1667	1.7500	7.2178
	0.0435	4.6250	3.8750	7.8000	1.0278	14.2321	0.1667	1.7773	7.2500
	0.0730	4.7600	4.0208	8.4111	1.0813	15.5039	0.2083	1.8000	7.3737
	0.0800	4.8400	4.1667	8.6667	1.1212	20.3947	0.2115	2.1154	7.5286
		6.8033	4.3878	9.0909	1.2500	22.3333	0.2500	2.1923	7.5484
		7.0000	4.8846	10.0450	1.6250	24.0454	0.2600	2.2222	7.5714
		7.4242	5.0000	10.4349	1.6400	24.7486	0.2604	2.2222	7.8472
		7.6000	5.0000	13.2500	1.6714	25.7098	0.2687	2.2885	7.9333
		9.5833	5.6875	13.3889	1.8240	25.7156	0.2708	2.3142	8.3846
		9.8106	5.8500	14.3176	1.8889	26.0917	0.2720	2.3258	9.2667
		1.0000	5.9167	15.7686	2.0000	27.3029	0.2778	2.4542	10.0000
		1.2500	5.9216	16.2667	2.1000	27.8295	0.3000	2.4883	10.2230
		1.5444	6.0000	16.4553	2.1280	27.9688	0.3100	2.5000	10.6000
		1.6000	6.2857	18.6444	2.1750	29.1667	0.3167	2.5000	10.7750
		1.7000	6.3194	18.6444	2.3750	32.1059	0.3271	2.5120	10.9148
		2.0000	6.4000	17.0588	2.6222	33.1072	0.3480	2.6250	11.0000
		2.2004	6.6500	17.1991	2.7778	36.6400	0.3558	2.6438	11.2500
		2.3077	6.6987	17.3333	2.8860		0.3810	2.6989	11.5000
		3.1857	6.7713	18.0000	3.2051		0.3950	2.7500	11.6000
		5.3292	7.5000	19.4231	3.2778		0.4167	2.8571	11.6667
			8.2373	1.2333	4.0179		0.4583	2.9744	12.0000
			8.8261		4.1250		0.4615	3.0000	12.2167
			9.1500		4.4167		0.4690	3.0857	12.2222
			10.0000		4.8929		0.5000	3.1659	12.3750
			10.2000		5.0580		0.5048	3.1667	12.4250
			10.3333		5.2000		0.5300	3.3333	12.5000
			10.9766		5.7857		0.5333	3.3333	12.8889
			11.2500		5.8667		0.5333	3.4000	13.0000
			12.8000		6.2500		0.5500	3.4135	14.4286
			14.0625		6.6667		0.5625	3.4667	14.5833
			14.8611		6.8333		0.5663	3.6000	15.3333
			14.4304		7.3333		0.5833	3.6058	15.3333
					7.7500		0.6250	3.6111	16.5833
					8.5000		0.6389	3.6254	16.6667

					9.0000		0.6389	3.6421	16.6667
					9.3889		0.6868	3.6826	18.0000
					9.8000		0.6971	3.7167	18.7692
					11.5000		0.7222	3.7675	21.7500
					12.9524		0.7333	3.8000	22.6250
					13.5833		0.7813	4.1600	24.0000
					13.6469		0.7857	4.1667	25.5000
					14.8718		0.8333	4.1667	22.6250
					15.3846		0.8600	4.1717	24.0000
					16.6667		0.8625	4.1819	25.5000
					16.6667		1.0208	4.2357	
					16.6667		1.0369	4.3500	
					16.8000		1.0733	4.5000	
					16.9231		1.0854	4.6250	
					17.0000		1.0897	4.6296	
							1.1200	4.6667	
							1.1333	4.6943	
							1.2083	4.8611	
							1.2234	4.8867	

C. Anexo: Acta de visita recomendada

DATOS DEL ESTABLECIMIENTO					FECHA/ HORA
RAZÓN SOCIAL:					
ACTIVIDAD DESARROLLADA:					CÓDIGO CIIU:
HORAS FUNCIONAMIENTO DÍA:				DÍAS SEMANA:	
CANTIDAD DE PRODUCCIÓN Y/O SERVICIOS:				UNIDAD:	
NÚMERO DE EMPLEADOS:				TURNOS LABORALES:	
TIPO DE PROCESO Lotes ☐ Continuo ☐					
ABASTECIMIENTO DE AGUA					
ACUEDUCTO	SI ☐		NO ☐	Consumo Total (m^3/mes): : Industrial: Domiciliario:	
CARROTANQUE	SI ☐		NO ☐	Consumo (m^3/mes):	
POZO	SI ☐		NO ☐	Resolución Concesión: Consumo (m^3/mes):	
FUENTE HÍDRICA SUPERFICIAL	SI ☐		NO ☐	Resolución Concesión: Consumo (m^3/mes):	
AGUA LLUVIA	SI ☐		NO ☐	Vol. Almacenamiento: Consumo (m^3/mes):	
OTROS	SI ☐		NO ☐	¿Cual(es)?: Consumo (m^3/mes):	

ETAPAS PROCESO - CONSUMO DE AGUA – UNIDAD DE PRODUCCIÓN							
Mes	*Consumo de Agua (m^3)*	*Producción mensual (_____)*		*Mes*	*Consumo de Agua (m^3)*	*Producción mensual (_____)*	
Balance Hídrico global y por etapa de proceso							

Consumo de agua de lavado:

MICROMEDICIONES

Etapa	Hora inicial	Hora final	Lectura inicial	Lectura Final	Volumen consumido	Método de medición	Tiempo de operación de la etapa	Producción	No de operarios	Observaciones

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS EQUIPOS (Tecnología, capacidad etc)

SISTEMA DE TRATAMIENTO (Describirlo y costo por m^3 de agua tratada)

SISTEMAS DE AHORRO Y APROVECHAMIENTO DE AGUA

Tiene Recirculación	SI	☐	NO ☐	Otros sistemas de ahorro:
Lavado a Presión	SI	☐	NO ☐	

OBSERVACIONES ADICIONALES

PERSONA QUE ATENDIÓ LA VISITA		**PROFESIONAL QUE REALIZÓ LA VISITA**
NOMBRE		NOMBRE:
CARGO		**Proyecto:**
EMAIL		
FIRMA	TELÉFO NO	FIRMA

Bibliografía

1. DirecciónGeneraldeAguas, *Política Nacional de Recursos Hídricos.* Ministerio de Obras Públicas de Chile - Dirección General de Aguas, 2000: p. 62.

2. Ambientum, *El consumo de agua en porcentajes*, in *Revista ambientum.* *http://www.ambientum.com/revistanueva/2005-09/aguas.htm*. 2009: Bogotá.

3. Mejia, O., *El Recurso Hídrico en la Jurisdicción de CORANTIOQUIA 1995 - 2007.* CORANTIOQUIA, 2009: p. 213.

4. Rivera, Ó.A.M., *El Recurso Hídrico en la Jurisdicción de Corantioquia*, ed. C.A.R.D.C.D. ANTIOQUIA. 2008, Medellín.

5. de Faria, D.C., A.A. Ulson de Souza, and S.M.d.A. Guelli Ulson de Souza, *Optimization of water networks in industrial processes.* Journal of Cleaner Production, 2009. **17**(9): p. 857-862.

6. MAVDT, *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. 2010, Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

7. IDEAM, *Estudio Nacional del Agua 2010.* Instituto de Hidrología, Metereología y Estudios Ambientales, 2010. **I**: p. 421.

8. IDEAM, *Informe Anual sobre el Estado del Medio Ambiente y los Recursos Naturales Renovables en Colombia - Estudio Nacional del Agua - Relaciones de demanda de agua y oferta hidrica* 2008, Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

9. SDA, *Distribución temporal y espacial de la precipitación*, in *Atlas ambiental de Bogotá. D.C*. 2007, Secretaría Distrital de Ambiente.

10. SDA, EAAB, and PUJ, *Calidad del Recurso Hídrico de Bogotá*. 2008, Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

11. MinAmbiente, *Guía de buenas prácticas para el uso eficiente de energía y agua.* Ministerio del Medio Ambiente. Dirección General Ambiental Sectorial : Fundes, 2001.

12. Bernal, O., et al., *Guía para la formulación del programa de uso eficiente y ahorro de agua para los usos representativos del recurso hídrico en la Jurisdicción CAR.* Corporación Autónoma Regional de Cundimarca, 2006.

13. Balarión, L., *Gestión de Recursos Hídricos*. 2009, España: Edicions UPC.

14. Osantowski, R., J. Liello, and C. Applegate, *Prevención genéria de la contaminación.* 2007.

15. MAVDT, *Uso eficiente del agua.* Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Consultado en Marzo de 2011, http://www.minambiente.gov.co, 2011.

16. CCB and DAMA, *Guía de buenas prácticas para el sector alimentos, subsector frutas y verduras*. 2004, Bogotá: Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente de Bogotá.

17. SDA and EAAB, *VIII Fase del programa de seguimiento y monitoreo de efluentes industriales y corrientes superficiales en Bogotá D.C.* Secretaría Distrital de Ambiente - Empresa de Acueducto y Alcantarillado, 2010.

18. SDA, *Informe de gestión y resultados del año 2009.* Secretaría Distrital de Ambiente, 2010.

19. Ramírez, C.A., M. Patel, and K. Blok, *How much energy to process one pound of meat? A comparison of energy use and specific energy consumption in the meat industry of four European countries.* Energy, 2006. **31**(12): p. 2047-2063.

20. CCI, *Plantas de beneficio de pollo, una actividad por conocer* Corporación Colombia Internacional, 2009.

21. Aldana, H., *Sección de Actualidad - Sorpresa.* Avicultores, 2008. **153**.

22. DAMA, *Guía ambiental sacrificio de aves*. 2002, Bogotá: DAMA.

23. AINIA, *Mejores Técnicas Disponibles en la Industria Cárnica.* Instituto Tecnológico Agroalimentario, 2000: p. 128.

24. CAR/PL, *Prevención de la contaminación en la industria cárnica en la región mediterránea.* Centro de Actividad Regional para la Producción Limpia, 2006.

25. Amorim, A.K.B., I.R. de Nardi, and V. Del Nery, *Water conservation and effluent minimization: Case study of a poultry slaughterhouse.* Resources, Conservation and Recycling, 2007. **51**(1): p. 93-100.

26. Kupusovic, T., et al., *Cleaner production measures in small-scale slaughterhouse industry - case study in Bosnia and Herzegovina.* Journal of Cleaner Production, 2007. **15**(4): p. 378-383.

27. Programme, E.T.B.P., *Reducing Water and Effluent Costs in Poultry Meat Processing.* . Guide GG233; 2000. http://www.envirowise.gov.uk. Consultada agosto de 2010, 2000.

28. Kist, L.T., S.E. Moutaqi, and Ê.L. Machado, *Cleaner production in the management of water use at a poultry slaughterhouse of Vale do Taquari, Brazil: a case study.* Journal of Cleaner Production, 2009. **17**(13): p. 1200-1205.

29. Matsumura, E.M. and J.C. Mierzwa, *Water conservation and reuse in poultry processing plant--A case study.* Resources, Conservation and Recycling, 2008. **52**(6): p. 835-842.

30. DAMA, *Oportunidades de producción más limpia en el sector de carnicos.* Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente, 2004: p. 77.

31. Rios, J., J. Escobar, and I. Palacio, *Guía metodológica para determinar módulos de consumo de agua y factores de vertimientos.* Área Metropolitana del Valle de Aburra, 2010: p. 76.

32. CAR, *Estudio para la determinación de los Módulos de consumo para Beneficio Hídrico*, in *Corporación Autonoma Regional de Cundinamarca.* 1993: Bogotá.

33. CORANTIOQUIA, *Demanda y usos del agua, índices de consumo y planes de acción para la implementación de la ley 373 de 1.997 en la jurisdicción de Corantioquia* Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia, 2003. **I**: p. 197.