

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA
FACULTAD DE CIENCIAS**



**“HUELLA HÍDRICA DEL POLLO DE ENGORDE
EN LA COSTA DE LIMA”**

Presentada por:

Ebert Jonathan Carrascal Arbaiza

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Lima – Perú

2017

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**“HUELLA HÍDRICA DEL POLLO DE ENGORDE
EN LA COSTA DE LIMA”**

Presentada por:

Ebert Jonathan Carrascal Arbaiza

Tesis para Optar el Título Profesional de:

INGENIERO AMBIENTAL

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

Mg. Quím. Mary Flor Césare Coral
PRESIDENTE

M. Sc. Ever Menacho Casimiro
MIEMBRO

Dra. Lía Ramos Fernández
MIEMBRO

Mg. Sc. Wilfredo Baldeón Quispe
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres por su incondicional
apoyo y comprensión en mi
formación profesional.

AGRADECIMIENTOS

La presente investigación se llevó a cabo gracias al apoyo de San Fernando S.A., empresa avícola peruana líder en el Perú.

Mis agradecimientos a todas las personas que con su colaboración hicieron posible la presente investigación:

- Al Mg. Sc. Wilfredo Baldeón Quispe, por haberme permitido contar con su patrocinio,
- A los miembros de mi jurado evaluador: Mg. Quim Mary Flor Césare Coral, Dra. Lía Ramos Fernandez y Mg. Sc. Ever Menacho Casimiro por sus atinadas observaciones y recomendaciones.
- Al equipo del Sistema Integrado de Gestión de San Fernando S.A., liderado por el Ing. Víctor Izaguirre Gadea y la Ing. María Grazia Rossi Luna, líder de gestión ambiental en la empresa.
- Al equipo de Producción Pecuaria de pollos de San Fernando S.A, liderado por el Ing. Edson Trujillo Cruz, por apoyar la realización de la investigación.
- Al equipo de producción de la granja PL 254 de San Fernando S.A, lugar en donde se realizó la investigación. En especial al Sr. Mauro, encargado de producción por su laboriosidad y apoyo.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xiii
SUMMARY	xiv
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. AGUA VIRTUAL	4
2.2. HUELLA HÍDRICA.....	4
2.2.1. HUELLA HÍDRICA AZUL	5
2.2.2. HUELLA HÍDRICA VERDE	6
2.2.3. HUELLA HÍDRICA GRIS.....	6
2.3. HUELLA HÍDRICA DE UN PRODUCTO.....	8
2.4. CALCULO DE LA HUELLA HÍDRICA DE UN PRODUCTO.....	9
2.4.1. ENFOQUE DE LA SUMA DE UNA CADENA	9
2.4.2. ENFOQUE ACUMULATIVO PASO A PASO	11
2.5. PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDE.....	14
2.5.1. POLLOS DE ENGORDE.....	14
2.5.2. CICLO PRODUCTIVO DE CRIANZA.....	14
2.6. CADENA DE VALOR DE LA PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDE	15
2.7. SITUACIÓN NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDE	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. ZONA DE ESTUDIO.....	18
3.2. ALCANCE	18
3.3. MATERIALES	20
3.4. MÉTODOS.....	21

3.4.1.	IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS E INSUMOS EN LA PRODUCCIÓN DEL POLLO DE ENGORDE	22
3.4.2.	METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA	22
3.4.3.	ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE REDUCCIÓN DE HUELLA HÍDRICA	30
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1.	IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDE	31
4.1.1.	INCUBACIÓN	31
4.1.2.	ELABORACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO	34
4.1.3.	CRIANZA DE POLLOS DE ENGORDE.....	38
4.1.4.	BENEFICIO	42
4.2.	ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA	47
4.2.1.	ESTIMACIÓN DEL RATIO DE AGUA VIRTUAL EN LA INCUBACIÓN	47
4.2.2.	ESTIMACIÓN DEL RATIO DE AGUA VIRTUAL EN EL BENEFICIO	48
4.2.3.	CONSUMO DE AGUA EN LA INCUBACIÓN DE POLLOS BEBÉ DE LA ZONA DE ESTUDIO	48
4.2.4.	CONSUMO DE AGUA EN LA CRIANZA DE POLLOS DE ENGORDE DE LA ZONA DE ESTUDIO	49
4.2.5.	CONSUMO DE AGUA EN EL BENEFICIO DE POLLOS VIVOS DE LA ZONA DE ESTUDIO	49
4.2.6.	HUELLA HÍDRICA DEL POLLO VIVO	50
4.2.7.	HUELLA HÍDRICA DEL POLLO BENEFICIADO.....	54
4.3.	PROPUESTAS DE REDUCCIÓN DE HUELLA HÍDRICA	60
4.3.1.	MEJORA EN EL USO DE RECURSOS	60
4.3.2.	REDUCCIÓN DE AGUA GRIS.....	62
4.3.3.	REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS	62
V.	CONCLUSIONES	66

VI. RECOMENDACIONES	68
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
VIII. ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ratio de agua virtual en la incubación	47
Tabla 2: Resumen – Ratio de agua virtual en la incubación	47
Tabla 3: Ratio de agua virtual en el beneficio	48
Tabla 4: Resumen – Ratio de agua virtual en el beneficio	48
Tabla 5: Consumo de agua en la incubación de pollos bebé	49
Tabla 6: Consumo de agua en la crianza de pollos de engorde	49
Tabla 7: Consumo de agua en el beneficio de pollos vivos	49
Tabla 8: Huella hídrica del pollo vivo	50
Tabla 9: Huella hídrica azul, verde y gris del pollo vivo	53
Tabla 10: Huella hídrica del pollo beneficiado	54
Tabla 11: Huella hídrica azul, verde y gris del pollo beneficiado	57
Tabla 12: Huella hídrica del pollo beneficiado en el Perú y otros países	58
Tabla 13: Caudal de vertimiento de agua residual.....	62
Tabla 14: Requerimiento diario de agua para procesos	63
Tabla 15: Costos de agua para procesos	64
Tabla 16: Retorno de inversión de propuesta de reúso de aguas residuales	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Balance de masa de un contaminante en un efluente líquido vertido a un cuerpo receptor.....	7
Figura 2: Esquema del cálculo de huella hídrica de un producto con el enfoque de la suma de una cadena.....	10
Figura 3: Esquema del cálculo de huella hídrica de un producto con el enfoque acumulativo paso a paso.....	11
Figura 4: Distribución de la crianza de pollos según región natural (2016)	16
Figura 5: Consumo per cápita de carne pollo (2007-2016) en kg/hab-año	17
Figura 6: Evolución de la producción de carne de pollo 2007-2016.....	17
Figura 7: Alcance de la huella hídrica del pollo vivo	19
Figura 8 Alcance de la huella hídrica del pollo beneficiado	20
Figura 9: Esquema de la metodología de la investigación según objetivos	21
Figura 10: Diagrama de flujo	22
Figura 11: Ubicación planta de incubación.....	32
Figura 12: Diagrama del proceso de incubación	33
Figura 13: Diagrama de procesos complementarios de incubación	34
Figura 14: Ubicación planta de alimentos balanceados	35
Figura 15: Diagrama del proceso de elaboración de alimento balanceado	37
Figura 16: Diagrama de procesos complementarios de la elaboración de alimento balanceado	38
Figura 17: Ubicación granja de pollos de engorde	39
Figura 18: Diagrama del proceso de crianza de pollos de engorde	40
Figura 19: Diagrama de procesos complementarios de crianza de pollos de engorde	42
Figura 20: Ubicación planta de beneficio de pollos	43
Figura 21: Diagrama del proceso de beneficio	45
Figura 22: Diagrama de procesos complementarios del beneficio	46
Figura 23: Composición de agua directa e indirecta en los procesos de producción del pollo vivo	51
Figura 24: Composición de agua directa e indirecta en la huella hídrica del pollo vivo	52
Figura 25: Huella hídrica azul, verde y gris del pollo vivo	53
Figura 26: Composición de agua directa e indirecta en los procesos de producción del pollo beneficiado	55

Figura 27: Composición de agua directa e indirecta en la huella hídrica del pollo beneficiado	56
Figura 28: Huella hídrica del pollo beneficiado en el Perú y otros países	58
Figura 29: Comparativo de huella hídrica con propuestas de reducción	65

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: Ratio de agua virtual en la incubación.....	73
ANEXO 2: Huella hídrica del alimento balanceado.....	76
ANEXO 3: Consumos directos e indirectos de agua en la crianza.....	80
ANEXO 4: Ratio de agua virtual en el beneficio	83
ANEXO 5: Plano de ubicación – Planta de incubación Chancay	87
ANEXO 6: Plano de ubicación – Planta de alimentos balanceados Chancay.....	88
ANEXO 7: Plano de ubicación – Granja de pollos PL 254	89
ANEXO 8: Plano de ubicación – Planta de beneficio de pollos Huaral	90

ÍNDICE DE TÉRMINOS

WF[A]:	Huella hídrica del producto o insumo “A”
WF_{azul}[A]:	Huella hídrica azul del producto o insumo “A”
WF_{verde}[A]:	Huella hídrica verde del producto o insumo “A”
WF_{gris}[A]:	Huella hídrica gris del producto o insumo “A”
DW[A]:	Agua directa en el producto o insumo “A”
IW[A]:	Agua indirecta en el producto o insumo “A”
P[A]:	Volumen del producto o insumo “A”
WF_M:	Huella hídrica del proceso “M”
WF_{azul}-M:	Huella hídrica azul del proceso “M”
WF_{verde}-M:	Huella hídrica verde del proceso “M”
WF_{gris}-M:	Huella hídrica gris del proceso “M”
RW_M	Ratio de agua virtual en el proceso “M”
RW_{DW-M}	Ratio de agua virtual directa en el proceso “M”
RW_{IW-M}	Ratio de agua virtual indirecta en el proceso “M”
W_M:	Consumo de agua en el proceso “M”
DW_M:	Consumo directo de agua en el proceso “M”
DW_{azul}-M:	Consumo directo de agua azul en el proceso “M”
DW_{verde}-M:	Consumo directo de agua verde en el proceso “M”
DW_{gris}-M:	Consumo directo de agua gris en el proceso “M”
IW_M:	Consumo indirecto de agua en el proceso “M”
Kg:	Kilogramo
Ton:	Tonelada
Und:	Unidad

RESUMEN

El pollo de engorde es la fuente proteica de mayor consumo en Lima, año tras año su demanda y producción se han incrementado, así como el consumo de agua para su producción. En la presente investigación se estima la huella hídrica del pollo de engorde en el litoral norte de Lima, es decir la cantidad de agua consumida del ambiente para producir pollo vivo y pollo beneficiado. Se identificaron los procesos de incubación, crianza y beneficio en la producción de pollos de engorde. Se estimó el ratio de agua virtual de cada proceso, así como la huella hídrica del alimento balanceado. Con la información de ratios de agua virtual de cada proceso se estimaron los consumos de agua en cada etapa productiva de nuestra zona de estudio, empezando por la incubación, crianza y beneficio; por último, se dividió el consumo total de agua entre el volumen de producción de pollo vivo y pollo beneficiado de nuestra zona estudio. La huella hídrica del pollo vivo y sacrificado es de 1,513.28 litros/kilogramo y 2.059 litros/kilogramo respectivamente, de los cuales el 95% y el 90% se compone de agua verde indirecta de insumos agrícolas importados para la producción de piensos balanceados. La huella hídrica del pollo beneficiado es una de la más bajas en comparación con otros países, debido a la baja conversión alimenticia en la crianza, dado que la conversión alimenticia de nuestra zona de estudio fue de 1.75, menor que la del promedio mundial de 2.8. Se puede reducir la huella hídrica del pollo de engorde de nuestra zona de estudio en 156 litros/kilogramo aplicando medidas de eliminación de agua gris, ahorro y reúso de aguas residuales tratadas en los procesos de crianza.

Palabras clave: Huella hídrica, agua, pollo de engorde, pollo vivo, pollo beneficiado, conversión alimenticia.

SUMMARY

The broiler chicken is the most consumed protein source in Lima, year after year its demand and production have increased, as well as the consumption of water for its production. In the present investigation, the water footprint of broiler chicken in the northern coast of Lima is estimated, that is, the amount of water consumed in the environment to produce chicken products. The processes of incubation, breeding and slaughtering in the production of broiler chickens were identified. It was estimated the virtual water ratio of each process, as well as the water footprint of the balanced feed. With the information of virtual water ratios of each process, water consumption was estimated in each productive stage of our study area, beginning with incubation, breeding and slaughtering. Finally, we divided the total water consumption between the volume of production of live chicken and chicken slaughtered from our study area. The water footprint of the live and slaughtered chicken is 1,513.28 liters/kilogram and 2,059 liters/kilogram respectively, of which 95% and 90% is composed of indirect green water from imported agricultural inputs for the production of balanced feed. The water footprint of the chicken slaughtered is one of the lowest in contrast with other countries, due to the low feed conversion in the breeding, since the feed conversion of our study area was 1.75, lower than the world average of 2.8. The water footprint of the broiler chicken in our study area can be reduced by 156 liters/kilogram by applying measures to reduce gray and reuse treated wastewater in the production processes.

Key words: Water footprint, water, broiler chicken, live chicken, chicken slaughtered, feed conversion.

I. INTRODUCCIÓN

Según la Asociación Peruana de Avicultura (2016), el consumo de pollo por habitante en Lima es de 76.4 kilogramos por año, seguramente durante el día estaremos consumiendo la carne de esta ave e incrementando incluso más esta cifra. A nivel latinoamericano el consumo de pollo en nuestro país es uno de los más altos de la región (Evans, 2016). El pollo de engorde es la principal fuente proteica en la alimentación de nuestro país, su bajo costo en comparación con otras carnes ha ocasionado un incremento de la demanda de este producto. A su vez esta alta demanda ha ocasionado un incremento en los volúmenes de producción de pollos en las empresas avícolas, que progresivamente han incrementado y mejorado sus sistemas productivos de crianza (Ministerio de Agricultura y Riego, 2016). Este incremento también demanda el uso de recursos naturales como el agua que es fundamental en esta actividad.

El agua para el hombre ha sido fundamental para su supervivencia, con el tiempo esta importancia no solo se limitó a su seguridad alimentaria sino también permitió su desarrollo mediante el descubrimiento y progreso de la agricultura, ganadería, industria y otras actividades que perduran en la actualidad (Bertrán, 2010). Lamentablemente en las últimas décadas estamos enfrentando una problemática mundial de disponibilidad y distribución de agua para la humanidad, a consecuencia del calentamiento global que genera cambios estacionales, lluvias extremas, sequías e inundaciones que afectan directamente la disponibilidad de agua para consumo humano, la producción de alimentos y el desarrollo de otras actividades productivas; sumado a esta situación debemos considerar también el acelerado incremento poblacional a nivel mundial que aumenta la demanda de agua (Ministerio de Agricultura y Riego, et al., 2015). Por esta razón, debemos tomar con mucha importancia esta problemática mundial, pues dependemos mucho de este recurso, ya que según el Informe Planeta Vivo 2014, elaborado por el Fondo Mundial de la Naturaleza, “La producción de alimentos es responsable de casi el 70% del agua utilizada por el hombre en el planeta” (World Wildlife Foundation, et al., 2014). Nuestro país no está ajeno a esta problemática mundial, más aún si presentamos una desigual distribución del agua, pues el 97.7% del agua disponible total fluye por la

vertiente oriental amazónica, mientras que el 1.8% fluye por la vertiente del pacífico, en el cual existen la mayor cantidad de urbes, actividades agropecuarias e industriales; finalmente la cantidad restante 0.5% llega a la vertiente del Titicaca (Gonzales y Porlles, 2013).

Para evaluar y proponer medidas de mitigación a esta problemática mundial se han desarrollado diversas herramientas que buscan mejorar la eficiencia del uso del agua, a través de la cuantificación del consumo de agua del ambiente y la evaluación de la presión que se ejerce a un determinado ecosistema. Una de estas herramientas más importantes desarrolladas en los últimos años es la “huella hídrica”, el cual es un indicador que permite cuantificar el consumo de agua en un determinado tiempo y espacio para un determinado proceso, producto, persona, empresa, región o nación. La huella hídrica se fundamenta en el tipo de agua consumida del ambiente, pudiendo ser agua azul, verde y gris (Hoekstra, et al., 2011). Desde una perspectiva productiva empresarial, esta herramienta es muy explicativa y beneficiosa, pues nos permite conocer nuestro impacto al ambiente, y así poder establecer mejoras en nuestros procesos productivos para lograr un uso más sostenible y eficiente de este recurso (Hoekstra, 2008).

La presente investigación se realiza con la finalidad de estimar la huella hídrica del pollo de engorde producido en la costa de Lima. Este producto es comercializado en presentaciones de pollo vivo y beneficiado. Se considera una zona de estudio representativa de producción en la costa de Lima, esta zona de estudio es una granja de pollos de engorde de la empresa San Fernando. La metodología de desarrollo de la investigación comprende, en primer lugar, identificar los procesos involucrados en la producción del pollo de engorde, dado que la producción no solo está reducida a la crianza en una granja, ya que existen procesos complementarios necesarios. En segundo lugar, para estimar la huella hídrica del pollo vivo y beneficiado se consultó y adaptó una metodología de cálculo desarrollada en "The Water Footprint Assessment Manual: Setting The Global Standard" (Hoekstra, et al., 2011). La metodología adaptada permite estimar la huella hídrica de un producto, mediante la suma del agua de las operaciones (agua directa) y el agua en la cadena de suministro (agua indirecta); entre un volumen de producción de un producto, para un tiempo y espacio determinado. Asimismo, la investigación comprendió elaborar propuestas para reducir la huella hídrica del pollo de engorde de la zona de estudio.

1.1. OBJETIVOS

El objetivo general de la presente investigación es el siguiente:

- Cuantificar la huella hídrica del pollo de engorde.

Los objetivos específicos de la presente investigación son los siguientes:

- Identificar los procesos en la producción de pollos de engorde.
- Estimar la huella hídrica de los productos del pollo de engorde.
- Proponer mejoras para reducir la huella hídrica del pollo de engorde.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. AGUA VIRTUAL

El agua virtual es un indicador físico en términos de agua "contenida" en un producto o servicio, esta agua no únicamente se refiere a la cantidad física contenida, sino también a la cantidad de agua que ha sido utilizada para generar dicho producto o servicio (Beltrán y Velásquez, 2015).

El concepto de agua virtual adquiere toda su relevancia cuando se asocia al comercio y es tan antiguo como el propio comercio de bienes. De esta forma, podemos entender por comercio de agua virtual la relocalización virtual del agua asociada a los productos que se intercambian. En ese sentido, existe un flujo de agua virtual desde los países o regiones exportadoras hacia los países o regiones importadoras. La cuantificación de los flujos de agua virtual llega unos años más tarde de la mano de Hoekstra quien utiliza éstos para realizar estimaciones de Huella Hídrica (Madrid y Velásquez, 2008).

2.2. HUELLA HÍDRICA

Según Hoekstra, et al. (2011), la huella hídrica es un indicador del uso de agua dulce, que muestra no solo el uso directo de un consumidor o productor, sino también el uso indirecto del agua. La huella hídrica puede ser considerada como un indicador integral de extracción del recurso agua dulce, por encima de la medida tradicional y restringida de la extracción de agua.

La huella hídrica muestra el volumen de agua consumida, la localización y tiempo en que se usó, además del origen que puede ser de precipitaciones (agua verde), fuentes superficiales o subterráneas (agua azul), u obtenida de un cauce para diluir descargas de aguas residuales (agua gris) (Hoekstra et al., 2009 y 2011). Otra definición para considerar es aquella mencionada por la norma ISO 14046 (Ferrer, 2014), que define la huella hídrica como "métricas que cuantifican los impactos ambientales potenciales relacionados con el agua".

2.2.1. HUELLA HÍDRICA AZUL

Es un indicador del consumo de agua dulce, pudiendo ser superficial o subterránea. El consumo agua dulce se refiere a los siguientes casos:

- Agua evaporada, corresponde a toda el agua azul que se evapora desde los suelos, cultivos o espejos de agua.
- Agua incorporada al producto, corresponde al agua contenida en el producto final.
- Agua que no regresa al mismo lugar de donde fue extraída, por ejemplo, si se devuelve al mar u otro lugar de captación.

Agua que no regresa en el mismo periodo, por ejemplo, si fue extraída en un periodo seco y devuelta en un periodo lluvioso.

El consumo del agua no significa que el agua desaparece, porque el agua permanece dentro de su ciclo y siempre regresará a algún lugar. El agua es un recurso renovable, pero eso no significa que su disponibilidad sea ilimitada, pues en algunos la disponibilidad dependerá de las precipitaciones y recarga de acuíferos, por lo tanto, es importante medir la cantidad de agua que podemos extraer de un determinado lugar, pues una alteración de su disponibilidad afectaría la sostenibilidad de un ecosistema natural (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica azul se calcula de la siguiente manera:

$$WF_a = \text{Agua azul evaporada} + \text{Agua azul incorporada} + \text{Flujo de retorno perdido}^* \quad (2.1)$$

Donde:

WF_a: Huella hídrica azul, (volumen/tiempo)

Flujo de retorno perdido*: Flujo de retorno que no está disponible para su reutilización dentro de la misma cuenca o dentro del mismo período de extracción.

La unidad de la huella hídrica azul de un proceso es volumen de agua por unidad de tiempo, por ejemplo, día, meses o años; Sin embargo, si dividimos por la cantidad de producto procesado, la huella hídrica puede expresarse unidades de volumen de agua por unidad de producto (Hoekstra et al., 2011).

2.2.2. HUELLA HÍDRICA VERDE

Es un indicador del consumo humano del agua verde, este último concepto se refiere al agua de las precipitaciones que llega al suelo, pero que no se pierde por escorrentía o recarga de un acuífero, sino aquella agua almacenada en el suelo y que permanece temporalmente en la parte superior del suelo. Esta agua puede ser aprovechada para la producción de cultivos o plantas, sin embargo, con el tiempo parte de esta agua de precipitación se evapora o transpira pues no puede ser completamente absorbida por el suelo o las plantas (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica verde se calcula de la siguiente manera:

$$WF_v = \text{Agua verde evaporada} + \text{Agua verde incorporada} \quad (2.2)$$

Donde:

WF_v: Huella hídrica verde, (volumen/tiempo)

Agua verde evaporada: Agua de evapotranspiración de las plantas y el suelo.

Agua verde incorporada: Agua incorporada en los cultivos o plantas.

Este indicador es muy importante para medir la huella hídrica de actividades agrícolas y forestales, pues se aprovecha el agua proveniente de las precipitaciones (Hoekstra et al., 2011).

2.2.3. HUELLA HÍDRICA GRIS

Es un indicador del grado de contaminación del agua. Se define como el volumen de agua necesaria para asimilar las cargas contaminantes a concentraciones naturales y estándares ambientales vigentes de calidad de agua (Hoekstra et al., 2011).

La huella hídrica gris se calcula de la siguiente manera:

$$WF_g = \frac{L}{C_{m\acute{a}x} - C_{nat}} \quad (2.3)$$

Donde:

L: Carga contaminante, (masa/tiempo)

C_{máx}: Estándar de calidad ambiental para un contaminante, (masa/volumen)

C_{nat}: Concentración natural del contaminante en el cuerpo receptor, (masa/volumen)

Si se liberan efluentes directamente a un cuerpo natural receptor, la carga contaminante (L) puede ser estimada midiendo el caudal de descarga de efluentes y la concentración de un determinado contaminante (Hoekstra et al., 2011). En base a esta afirmación, se puede desarrollar un balance de masa del contaminante (ver Figura 1) para determinar la huella hídrica gris (Broussain, 2011).

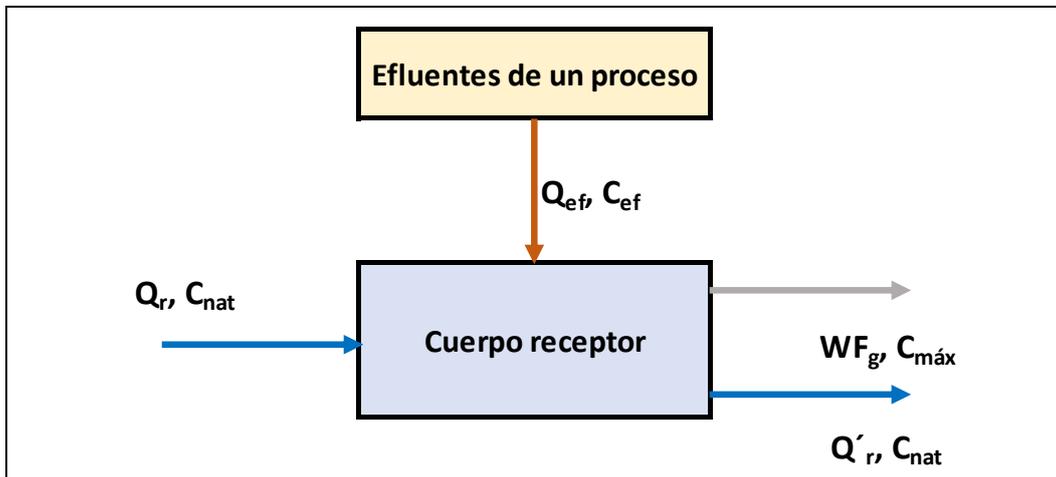


Figura 1: Balance de masa de un contaminante en un efluente líquido vertido a un cuerpo receptor

FUENTE: Broussain, 2011

Donde:

Q_r : Caudal original del cuerpo receptor, (m^3/s)

C_{nat} : Concentración natural del cuerpo receptor, (kg/m^3)

Q_{ef} : Caudal del efluente descargado desde el proceso productivo, (m^3/s)

C_{ef} : Concentración del efluente descargado desde el proceso productivo, (kg/m^3)

Q'_r : Caudal del cuerpo receptor libre de elementos descargados, luego de la descarga, (m^3/s)

WF_g : Caudal del cuerpo receptor con la concentración máxima de elementos descargados permitidos por la norma, luego de la descarga, (m^3/s)

$C_{máx}$: Concentración máxima de elementos descargados permitida por la norma de calidad ambiental, (kg/m^3)

Considerando el esquema de la Figura 1, el balance de caudal y de masa es el siguiente:

Balance de caudal

$$Q_r + Q_{ef} = WF_g + Q'_r \quad (a)$$

$$Q'_r = Q_r + Q_{ef} - WF_g \quad (b)$$

Balance de masa

$$Q_r * C_{nat} + Q_{ef} * C_{ef} = WF_g * C_{m\acute{a}x} + Q'_r * C_{nat} \quad (c)$$

Reemplazando (b) en (c)

$$\begin{aligned} Q_r * C_{nat} + Q_{ef} * C_{ef} &= WF_g * C_{m\acute{a}x} + (Q_r + Q_{ef} - WF_g) * C_{nat} \\ Q_r * C_{nat} + Q_{ef} * C_{ef} &= WF_g * C_{m\acute{a}x} + Q_r * C_{nat} + Q_{ef} * C_{nat} - WF_g * C_{nat} \\ WF_g * (C_{m\acute{a}x} - C_{nat}) &= Q_{ef} * (C_{ef} - C_{nat}) \end{aligned}$$

Por tanto, la huella hídrica gris (masa/volumen) se puede calcular de la siguiente manera (Broussain, 2011):

$$WF_g = \frac{Q_{ef} * (C_{ef} - C_{nat})}{(C_{m\acute{a}x} - C_{nat})} \quad (2.4)$$

2.3. HUELLA HÍDRICA DE UN PRODUCTO

Hoekstra et al. (2011) define la huella hídrica de un producto como el volumen total de agua dulce utilizada directa o indirectamente para producir el producto. Este indicador se calcula considerando el consumo de agua y la contaminación en todas las etapas de la cadena de producción.

La huella hídrica de un producto puede ser expresada en m³/ton o litros/kg. En muchos casos, cuando los productos se pueden contar por unidad, la huella hídrica puede expresarse como volumen de agua por unidad. Otras formas de expresar la huella hídrica, en términos monetarios y energéticos de la producción, puede ser en m³/US \$ o volumen de agua / Kcal respectivamente (Hoekstra et al., 2009).

De acuerdo a Hoekstra et al. (2011), para cuantificar la huella hídrica de un producto tenemos que empezar conociendo la forma en que se produce tal producto. Por lo que, hay que identificar el sistema de producción del producto, determinando la secuencia de etapas

de proceso que permiten obtener el producto. Sin embargo, se debe tener en cuenta el hecho de que existen muchos productos que requieren múltiples procesos, a menudo sucede que existen varios procesos con anterioridad a otro proceso. En tal caso, no tendremos una cadena lineal de las etapas del proceso productivo, sino más bien varios procesos interrelacionados al producto.

Para calcular la huella hídrica de un producto, habrá que dividir el sistema de producción en un número limitado de pasos vinculados al proceso, específicamente cuando se tiene la intención de ir más allá de un análisis muy superficial basado en medias globales, ya que habrá que especificar los pasos en el tiempo y el espacio, asimismo se tendrá que investigar los insumos utilizados para el o los productos. Las circunstancias de producción y las características de proceso serán diferentes de un lugar a otro, de modo que un lugar de producción influirá en el tamaño y el color de la huella hídrica. También, al final nos puede interesar poder señalar geográficamente el mapa de la huella hídrica de un producto final, así que esa es otra buena razón para realizar un seguimiento del lugar (Hoekstra et al., 2009).

La esquematización de un sistema de producción en distintas etapas del proceso productivo, inevitablemente requiere unos supuestos y unas simplificaciones, es pues muy importante definir un alcance de estudio apropiado, debido a que muchos sistemas de producción contienen componentes circulares. Por tal afirmación, Hoekstra et al. (2009) recomienda definir el alcance de estudio de la huella hídrica de un producto, hasta aquellos puntos donde no se comprometa información significativa para el propósito del estudio.

2.4. CALCULO DE LA HUELLA HÍDRICA DE UN PRODUCTO

Existen dos maneras de calcular la huella hídrica de un producto, la primera manera consiste en el enfoque de la suma de una cadena y la segunda en un enfoque acumulativo paso a paso, este último es el método más genérico (Hoekstra et al., 2011).

2.4.1. ENFOQUE DE LA SUMA DE UNA CADENA

Este enfoque solo se puede aplicar en un sistema de producción que produzca un solo producto de salida (ver Figura 2). En este caso particular, las huellas hídricas asociadas con las diversas etapas de los procesos del sistema de producción suman la huella hídrica del producto que resulta del sistema.

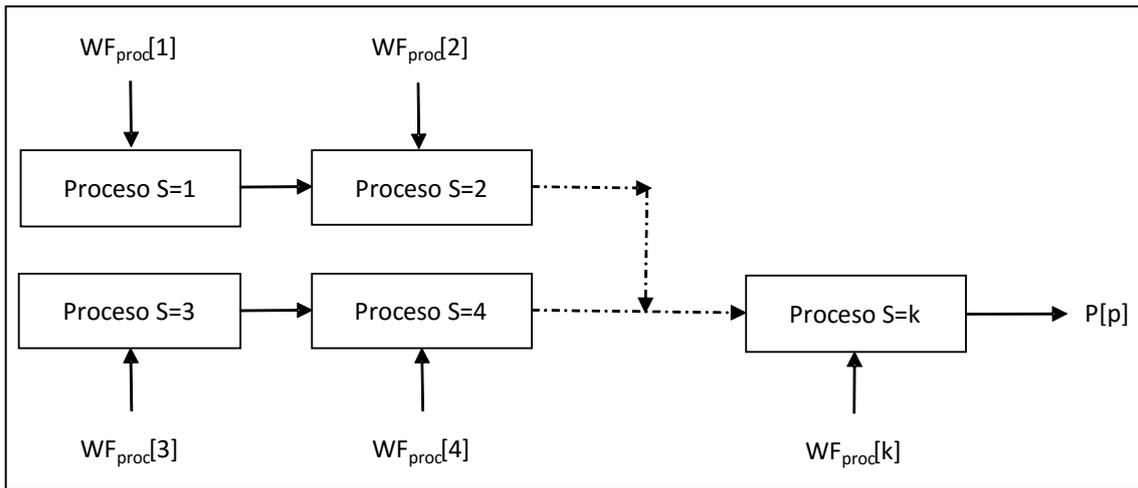


Figura 2: Esquema del cálculo de huella hídrica de un producto con el enfoque de la suma de una cadena

FUENTE: (Hoekstra et al., 2011)

Descripción: Esquematización del sistema de producción para producir un producto p en las etapas del proceso k, algunas medidas están en serie y otras en paralelo. La huella hídrica de p del producto de salida se calcula como la suma de las huellas hídricas de los procesos que constituyen el sistema de producción. Este régimen simplificado presupone que p es un producto único de salida del sistema de producción.

En este sistema de producción simple, la huella hídrica de producto p (volumen / masa) es igual a la suma de las huellas hídricas de los procesos existentes dividido entre la cantidad de producción del producto p (Hoekstra et al., 2011):

$$\mathbf{WF}_{\text{prod}}[\mathbf{p}] = \frac{\sum_{s=1}^k \mathbf{WF}_{\text{proc}}[\mathbf{s}]}{\mathbf{P}[\mathbf{p}]} \quad (2.5)$$

Donde:

$\mathbf{WF}_{\text{prod}}[\mathbf{p}]$ = Huella hídrica del producto p, $\left(\frac{\text{volumen}}{\text{masa}}\right)$

$\mathbf{WF}_{\text{proc}}[\mathbf{s}]$ = Huella hídrica de la etapa del proceso s, $\left(\frac{\text{volumen}}{\text{tiempo}}\right)$

$\mathbf{P}[\mathbf{p}]$ = Cantidad de producción de producto p, $\left(\frac{\text{masa}}{\text{tiempo}}\right)$

2.4.2. ENFOQUE ACUMULATIVO PASO A PASO

Este enfoque es una forma genérica del cálculo de la huella hídrica, supongamos que tenemos una serie de productos de entrada para la obtención de un producto de salida. En este caso podemos obtener la huella hídrica de la salida del producto, simplemente sumando las huellas hídricas de los productos de entrada y añadiendo la huella hídrica del proceso para obtener el producto de salida. En el caso que tengamos un producto de entrada y una serie de productos de salida, es necesario distribuir la huella hídrica del producto de entrada entre sus productos por separado. Esto puede hacerse en proporción al valor de los productos de salida. También podría hacerse en proporción al peso de los productos, pero esto sería menos significativo. Finalmente, consideremos el caso más genérico (ver Figura 3). Queremos calcular la huella hídrica de un producto p , en cuyo proceso hay elementos de entrada. Los productos de entrada están numerados desde $i=1$ a y . Supongamos que los elementos de entrada resultan en varios productos de salida z . Pondremos el número de productos de salida de $p=1$ a la z .

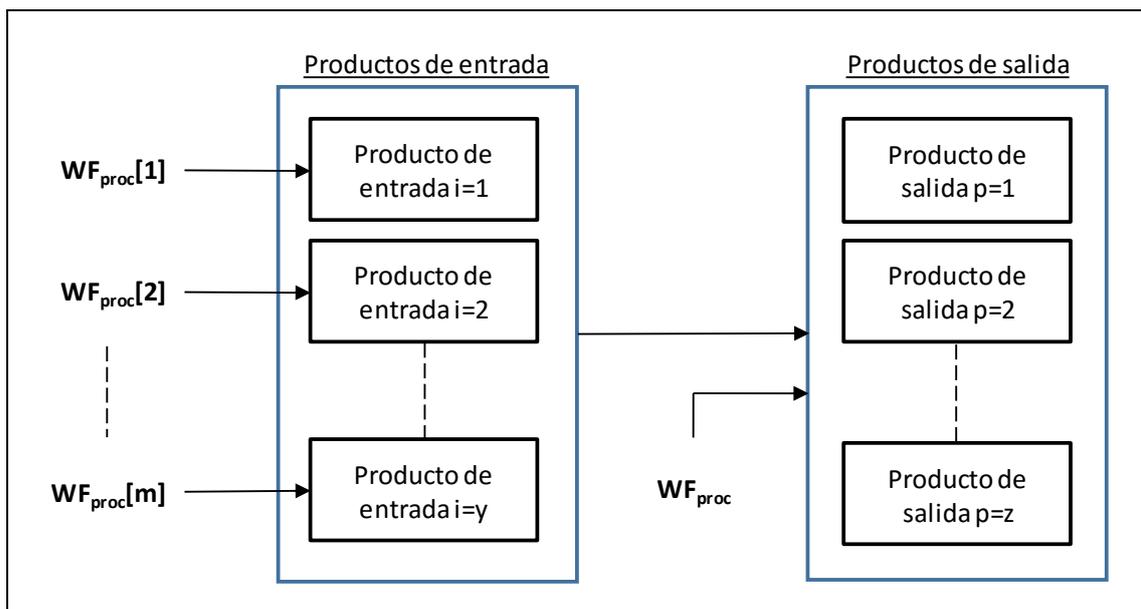


Figura 3: Esquema del cálculo de huella hídrica de un producto con el enfoque acumulativo paso a paso

FUENTE: (Hoekstra et al., 2011)

Descripción: Esquematización de un sistema de producción para producir el producto p . La huella hídrica de p de salida del producto se calcula sobre la base de las huellas hídricas de los productos de entrada y la huella hídrica del proceso de transformación de los productos de entrada a salida.

Si durante el proceso hubiere consumo de agua, la huella hídrica del proceso se agregaría a las huellas hídricas de los productos de entrada antes de distribuirlo a los productos de salida diferentes. La huella hídrica de p de un producto de salida se calcula de la siguiente manera (Hoekstra et al., 2011):

$$\mathbf{WF}_{\text{prod}}[\mathbf{p}] = \left(\mathbf{WF}_{\text{proc}}[\mathbf{p}] + \sum_{i=1}^y \frac{\mathbf{WF}_{\text{prod}}[\mathbf{i}]}{\mathbf{f}_p[\mathbf{p}, \mathbf{i}]} \right) \times \mathbf{f}_v[\mathbf{p}] \quad (2.6)$$

Donde:

$\mathbf{WF}_{\text{prod}}[\mathbf{p}]$ = Huella hídrica del producto p de salida, $\left(\frac{\text{volumen}}{\text{masa}}\right)$

$\mathbf{WF}_{\text{prod}}[\mathbf{i}]$ = Huella hídrica de productos de entrada i, $\left(\frac{\text{volumen}}{\text{masa}}\right)$

$\mathbf{WF}_{\text{proc}}[\mathbf{p}]$ = Huella hídrica del proceso de transformación de los productos de entrada a los productos de salida z, $\left(\frac{\text{volumen}}{\text{masa}}\right)$

$\mathbf{f}_p[\mathbf{p}, \mathbf{i}]$ = Fracción del producto

$\mathbf{f}_v[\mathbf{p}]$ = Fracción de valor

Tener en cuenta que la huella hídrica del proceso se debe tomar en términos de volumen de agua por unidad de producto transformado; cuando la huella hídrica de proceso venga cuantificada por unidad de un producto de entrada específico, el volumen tendrá que ser dividido por la fracción del producto para ese insumo.

La fracción del producto de un producto de salida p, se calcula de la siguiente manera (Hoekstra et al., 2011):

$$\mathbf{f}_p[\mathbf{p}, \mathbf{i}] = \frac{\mathbf{w}[\mathbf{p}]}{\mathbf{w}[\mathbf{i}]} \quad (2.7)$$

Donde:

$\mathbf{f}_p[\mathbf{p}, \mathbf{i}]$ = fracción del producto de un producto de salida p que se procesa a partir de un insumo i

$\mathbf{w}[\mathbf{p}]$ = cantidad de producto de salida; [masa]

$\mathbf{w}[\mathbf{i}]$ = cantidad de producto de entrada; [masa]

La fracción de valor de un producto de salida p , se define como el cociente entre el valor de mercado de este producto y el valor de mercado agregado de todos los productos de salida ($p=1$ a z) obtenidos de los productos de entrada (Hoekstra et al., 2011):

$$f_v[p] = \frac{\text{price}[p] \times w[p]}{\sum_{p=1}^z (\text{price}[p] \times w[p])} \quad (2.8)$$

Donde:

$f_v[p]$ = fracción de valor de un producto de salida p , $\left(\frac{\text{unidad monetaria}}{\text{unidad monetaria}}\right)$

$[p]$ = precio del producto p , $\left(\frac{\text{unidad monetaria}}{\text{masa}}\right)$

$\sum_{p=1}^z (\text{price}[p] \times w[p])$ = suma de los productos de salida ($p = 1$ a z) que se originan de los productos de entrada.

Tengamos en cuenta que utilizamos el "precio" aquí como un indicador del valor económico de un producto, que no siempre es el caso, por ejemplo, cuando no hay mercado para un producto o cuando el mercado está deformado. Por supuesto, la mejor manera es la de tomar el valor económico real.

En un caso simple, donde sólo hay un proceso de insumo y un producto de salida, el cálculo de la huella hídrica de la salida del producto se simplifica (Hoekstra et al., 2011):

$$WF_{\text{prod}}[p] = WF_{\text{proc}}[p] + \frac{WF_{\text{prod}}[i]}{f_p[p, i]} \quad (2.9)$$

Como recomendación final, para el cálculo de la huella hídrica de un producto final de cualquier sistema de producción, Hoekstra et al., (2011) indica empezar a calcular la huella hídrica de los recursos primarios (donde comienza la cadena de suministro) y calcular a continuación, paso a paso, las huellas hídricas de los productos intermedios, hasta que se puede calcular la huella hídrica del producto final. El primer paso es siempre el de obtener las huellas hídricas de los productos de entrada y el agua utilizada para transformarlos en el producto de salida. El total de estos componentes se distribuirá entre los productos finales diferentes, en función de su fracción como producto y la fracción de su valor.

2.5. PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDE

2.5.1. POLLOS DE ENGORDE

El pollo de engorde es un animal mejorado genéticamente para producir carne en poco tiempo, si se mantiene en condiciones adecuadas, pues es posible alcanzar de 1.8 a 2 Kg de peso a los 42 días de edad. Para conseguir estos resultados es necesario proveer de un ambiente adecuado con buen alimento, agua de buena calidad y un eficaz manejo sanitario (Cajas, 2015).

Actualmente en el Perú se crían intensivamente las razas de pollos de engorde Cobb y Ross (Reynaga, 2014).

2.5.2. CICLO PRODUCTIVO DE CRIANZA

a. Preparación del galpón para la crianza

Previo al ingreso de un lote de pollitos de engorde, se realiza una desinfección al galpón de crianza y material de cama. Posteriormente, se adecua el interior del galpón a las condiciones ambientales óptimas de crianza, siendo los puntos de control temperatura, humedad, ventilación e iluminación (COBB, 2013 y AVIGEN, 2014).

b. Crianza

COBB, (2013) y AVIGEN, (2014) coinciden en que esta etapa es fundamental, pues de ello depende principalmente los resultados de producción de pollos de engorde. Al igual que la etapa de preparación, se continúa manejando las condiciones ambientales óptimas para el desarrollo de las aves, este manejo está en función de las condiciones ambientales propias del lugar y la fase de crianza del pollo de engorde. Estas fases se dividen generalmente en tres: inicio (desde la llegada a galpón de los pollitos de engorde – tercera semana), levante (cuarta semana – sexta semana) y acabado (última semana antes del beneficio).

El manejo del alimento es aún más importante en esta etapa, pues en cada fase de crianza la formulación del alimento influye directamente en la conversión alimenticia y la velocidad de crecimiento de las aves. Por otra parte, la sanidad durante la crianza es fundamental para prevenir la proliferación de enfermedades o mortalidad, por lo que toda granja cuenta con un programa de vacunación para las aves y procedimientos

sanitarios para el cumplimiento estricto de todo trabajador o visitante (COBB, 2013 y AVIGEN, 2014).

2.6. CADENA DE VALOR DE LA PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDE

La cadena de valor de la producción de pollos de engorde comienza con la cría de abuelos, importados de países desarrolladores de líneas genéticas de pollo de engorde, a partir de los cuales se obtiene la generación de padres, aves reproductoras de los pollitos bebé de engorde. Los pollitos bebé de engorde, son enviados a las granjas de crianza en donde transcurren 48 días, en promedio, para luego ser trasladados a las plantas de beneficio para su procesamiento industrial (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación, 2016).

El procesamiento industrial comienza con el beneficio, transformación industrial básica. Luego se derivan distintos procesamientos de la carne de pollo que dan origen a productos como pollo entero, trozado, deshuesado, o bien alimentos congelados pre-cocidos con mayor valor agregado (Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación, 2016).

En el Perú, a diferencia de otros países, el pollo de engorde es comercializado mayoritariamente vivo a centros minoristas de venta, en donde se realiza el beneficio (Reynaga, 2014).

2.7. SITUACIÓN NACIONAL DE LA PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDE

La producción de pollos de engorde, en la actualidad, constituye la actividad más importante en el sector pecuario. En 51 años pasó de tener una población nacional de alrededor de 5.1 millones (1961) a 86.7 millones (2012) (Reynaga, 2014).

El Boletín Estadístico de Producción Agrícola Pecuaria y Avícola de Diciembre del 2016 revela que el 95 por ciento de la población de pollos de engorde a nivel nacional se encuentra en la costa; el otro 5 por ciento se distribuye entre la sierra y la selva (ver Figura 4). A nivel departamental, Lima participa con cerca del 55 por ciento del total nacional, seguido por La Libertad, Arequipa e Ica (Ministerio de Agricultura y Riego 2016 y Reynaga 2014).

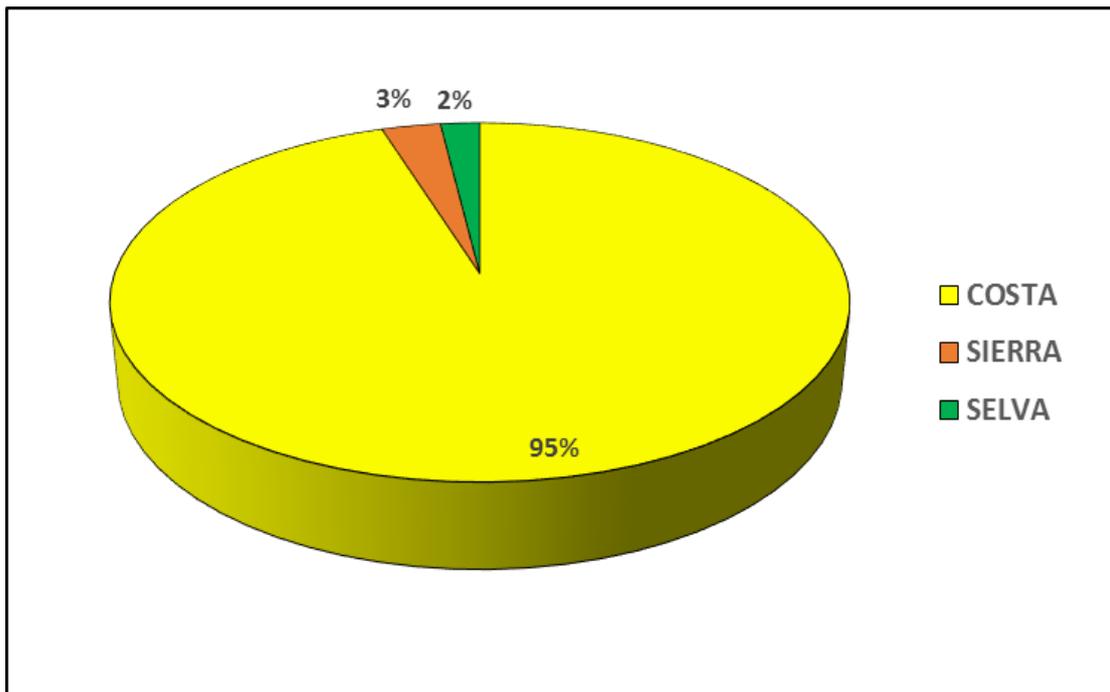


Figura 4: Distribución de la crianza de pollos según región natural (2016)

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego, 2016

La crianza de pollos de los grandes productores se realiza bajo un sistema empresarial-intensivo, en especial en la costa; mientras que una cantidad poco significativa la realiza bajo un sistema productivo familiar. En nuestro país el consumo per cápita anual de carne de pollo asciende a 53.8 kg (ver Figura 5), en Lima llega a alcanzar los 70 kg. La gran demanda de carne de pollo se debe a su bajo precio en comparación con otras carnes. En el 2016 el precio promedio del pollo se ubicó en S/. 5.08 por kilogramo (Ministerio de Agricultura y Riego 2016 y Reynaga 2014).

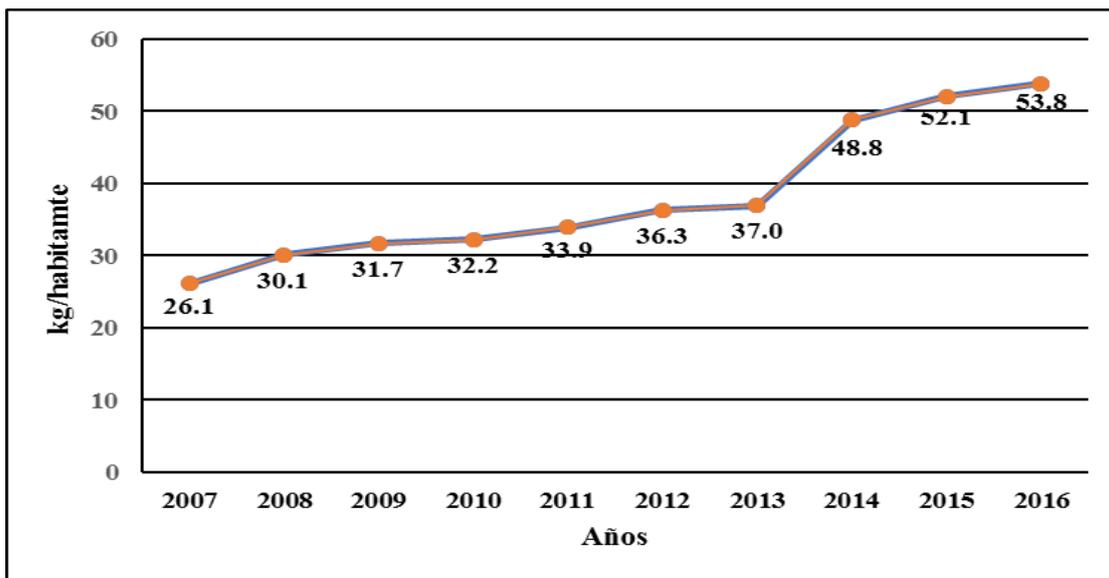


Figura 5: Consumo per cápita de carne pollo (2007-2016) en kg/hab-año

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego 2016 y Reynaga 2014

A nivel nacional, la producción de carne de pollo aumentó en 10 años de 770 a 1694 miles de toneladas. En la Figura 6 se observa este incremento anual desde el año 2007 al 2016 (Reynaga, 2014).

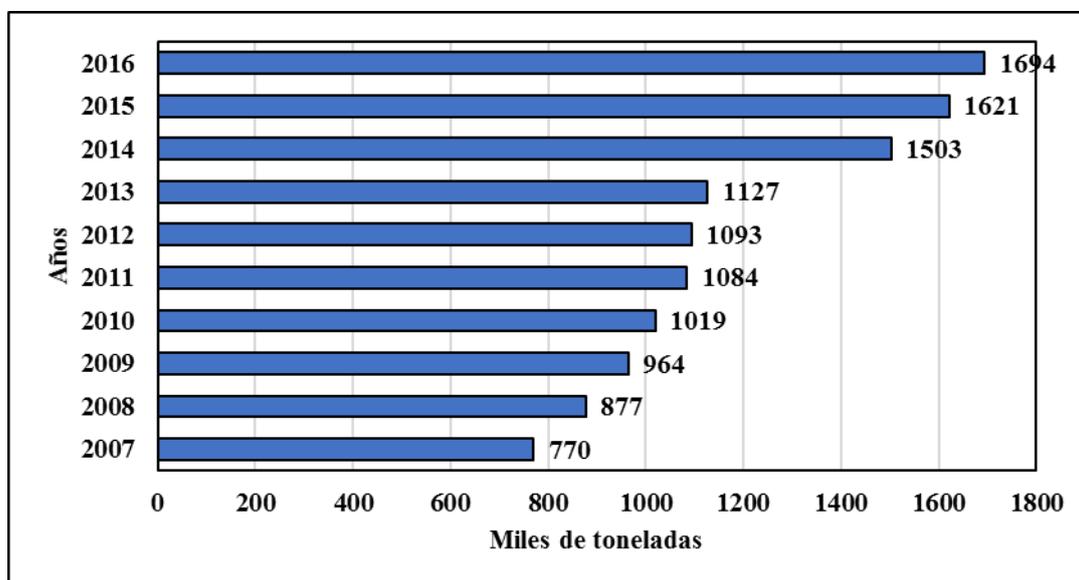


Figura 6: Evolución de la producción de carne de pollo 2007-2016

FUENTE: Ministerio de Agricultura y Riego 2016 y Reynaga 2014

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

Se determinó realizar la investigación en la empresa San Fernando S.A., líder en el sector avícola. Se seleccionó una granja representativa de producción de pollos de engorde de la empresa en la costa de Lima. Los criterios de selección fueron los siguientes: antigüedad de más de 10 años de crianza continua, poseer instalaciones promedio del sector avícola de crianza intensiva de pollos de engorde (comederos y bebederos semiautomáticos) y tener una ubicación habitual de granjas de la costa de Lima. Por otra parte, se consideró las etapas productivas complementarias de la crianza (incubación y beneficio), las cuales se realizan en plantas de la misma empresa.

La granja seleccionada tiene por nombre “Plantel 254”, está ubicada a la altura del Kilómetro 103 de la Panamericana Norte, en la provincia de Huaura, departamento de Lima. Esta granja realiza operaciones desde hace más de 20 años y cuenta con instalaciones de crianza modernas, eficientes y productivas; asimismo, esta granja ha sido considerada por la empresa como modelo para modernizar granjas existentes y construir nuevas. La granja está ubicada en un área de gran concentración de granjas de pollos de engorde de la costa de Lima. La raza de pollo de engorde de crianza fue Cobb.

La zona de estudio comprendió la crianza en granja (campana) de 432,262 pollos bebé de engorde, la campana tuvo una duración total de 71 días, los cuales iniciaron el 15/09//2016 hasta el 25/11/2016. Para las etapas productivas complementarios de producción de pollos de engorde (incubación y beneficio), se consideró una operación continua de seis meses desde junio hasta noviembre del 2016 en las plantas de la empresa.

3.2. ALCANCE

Dado que existe dos tipos de productos del pollo de engorde: el pollo vivo y el pollo beneficiado. Se determinó dos alcances, el primero corresponde al producto pollo vivo, que empieza en la incubación y culmina con la crianza. El segundo corresponde al pollo

beneficiado que empieza en la incubación, continua con la crianza y culmina con el beneficio. En las Figuras 7 y 8 se esquematiza los alcances para cada tipo de producto.



Figura 7: Alcance de la huella hídrica del pollo vivo

FUENTE: Elaboración propia



Figura 8 Alcance de la huella hídrica del pollo beneficiado

FUENTE: Elaboración propia

3.3. MATERIALES

En la presente investigación, se emplearon materiales para la medición de volúmenes de consumo de agua de pozos subterráneos y red pública en las unidades operativas involucradas en la producción de pollos. Además, se registraron los volúmenes de vertimiento de agua residual tratada en las unidades que vertían sus efluentes a un cuerpo natural receptor.

Para las mediciones de volumen de consumo de agua y vertimiento de efluentes, se emplearon los siguientes materiales:

- Caudalímetros
- Accesorios de grifería

Asimismo, se compiló información para desarrollar la metodología de la investigación, dado que se debía conocer los procesos, identificar insumos y productos, cuantificar consumo de insumos y productos. Además, se utilizó material bibliográfico para calcular las huellas hídricas de insumos. Para la compilación de información y cálculos, se emplearon los siguientes materiales:

- Registros de uso de recursos
- Registros de producción
- Fichas técnicas de insumos y productos
- Informes de monitoreo de efluentes líquidos
- Material bibliográfico

3.4. MÉTODOS

En la Figura 9, se detallan las técnicas y procedimientos de análisis empleados para cumplir los tres objetivos específicos planteados en la presente investigación.

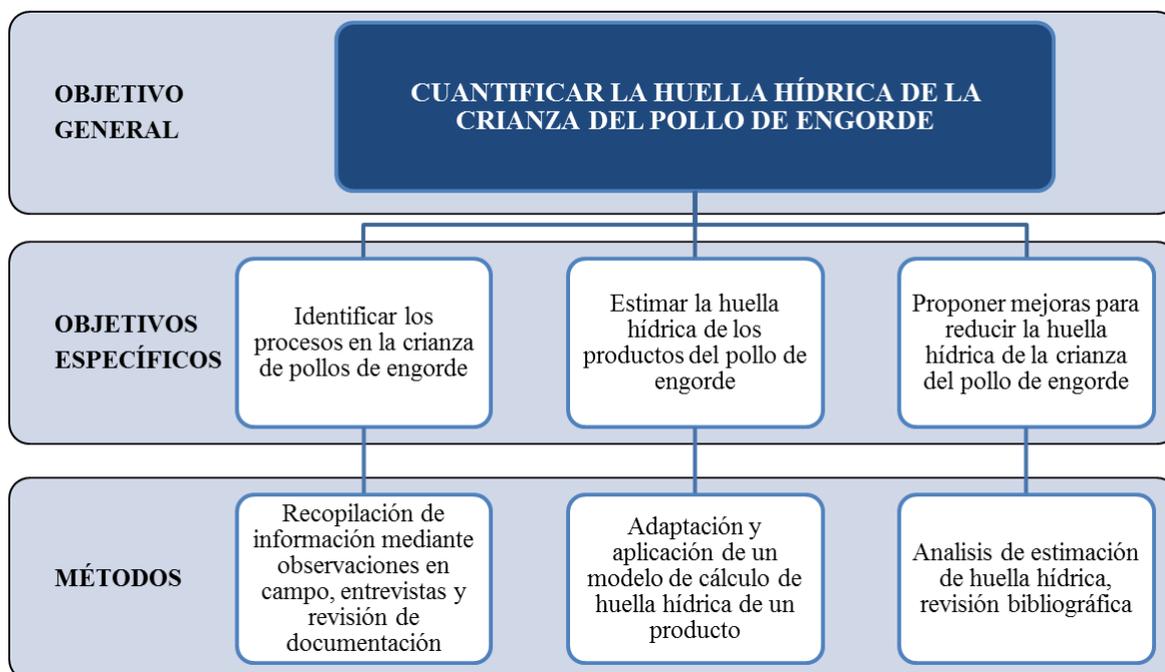


Figura 9: Esquema de la metodología de la investigación según objetivos

FUENTE: Elaboración propia

3.4.1. IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS E INSUMOS EN LA PRODUCCIÓN DEL POLLO DE ENGORDE

Se identificaron los procesos, entradas y salidas de cada etapa productiva en la producción de pollo vivo y pollo beneficiado (incubación, crianza y beneficio). Se realizaron reuniones de consulta con los responsables de planta y granja. Asimismo, se realizaron visitas de campo de observación y levantamiento de información con la finalidad de mapear los procesos y elaborar flujogramas que identifiquen las entradas y salidas. Se hizo mayor énfasis en identificar insumos de mayor uso, uso de agua, energía y generación de efluentes líquidos. Para el mapeo de procesos se utilizó un diagrama de flujo, como se muestra en la Figura 10.



Figura 10: Diagrama de flujo

FUENTE: Elaboración propia

3.4.2. METODOLOGÍA DE ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA

Se adaptó un modelo de estimación de huella hídrica para los productos pollo vivo y pollo beneficiado. Este modelo se estableció de acuerdo a los lineamientos guía de "The Water Footprint Assessment Manual: Setting The Global Standard" (Hoekstra, et.al, 2011). El modelo descrito consideró el uso de agua azul, verde y gris en las operaciones de los procesos de producción. Además, consideró el consumo de agua en la cadena de suministro, que es el agua que fue consumida para la producción de los insumos y energía utilizados en los procesos.

Para el caso de estudio, diferentes procesos interrelacionados (ver Figuras 7 y 8), se realizó un modelo de estimación de huella hídrica paso a paso. Primero, se determinaron los ratios de agua virtual en las etapas de incubación y beneficio. Luego, se calculó los consumos de agua de nuestra zona de estudio en las etapas de incubación, crianza y beneficio. Finalmente, se dividió el consumo total de agua en cada proceso entre el volumen total de producción de cada producto.

El modelo contó con ecuaciones de cálculo de ratios de agua virtual, consumos directos e indirectos de agua, huella hídrica azul, verde y gris de un producto. Se utilizó la terminología indicada en el índice de términos.

a) Ratio de agua virtual en la incubación

El ratio de agua virtual en el proceso de incubación se estimó con la ecuación (3.1).

$$RW_{Inc} = \frac{DW_{Inc} + IW_{Inc}}{P[\text{pollo bebé}]} \quad (3.1)$$

Donde:

RW_{Inc} = Ratio de agua virtual en la incubación, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{unidad}}\right)$

DW_{Inc} = Consumo directo de agua en la incubación, (litros)

IW_{Inc} = Consumo indirecto de agua en la incubación, (litros)

$P[\text{pollo bebé}]$ = Volumen de pollos bebé, (unidad)

Para el cálculo del ratio de agua virtual se compiló información de producción de pollos bebé de la planta de incubación de la empresa, por un periodo de seis meses, desde junio a noviembre del 2016.

En la ecuación (3.1) se empleó valor de consumo directo de agua en la incubación (DW_{Inc}), para calcular este valor se utilizó la ecuación (3.2) que suma los consumos directos de agua azul, verde y gris de las operaciones de un proceso productivo.

$$DW_M = DW_{\text{azul-M}} + DW_{\text{verde-M}} + DW_{\text{gris-M}} \quad (3.2)$$

Donde:

DW_M = Consumo directo de agua en el proceso "M", (litros)

$DW_{\text{azul-M}}$ = Consumo directo de agua azul en el proceso "M", (litros)

$DW_{\text{verde-M}}$ = Consumo directo de agua verde en el proceso "M", (litros)

$DW_{\text{gris-M}}$ = Consumo directo de agua gris en el proceso "M", (litros)

Por otra parte, para determinar el valor de consumo indirecto de agua en la incubación (IW_{Inc}) se empleó la ecuación (3.3).

$$IW_M = \sum_{A=1}^n IW[A] \quad (3.3)$$

Donde:

IW_M = Consumo indirecto de agua en el proceso "M", (litros)

$IW[A]$ = Agua indirecta del insumo "A", (litros)

n = Numero de insumos utilizados en el proceso "M", (unidad)

Para estimar el agua indirecta de un insumo $IW[A]$ se empleó la ecuación (3.4).

$$IW[A] = WF[A] * P[A] \quad (3.4)$$

Donde:

$IW[A]$ = Agua indirecta del insumo "A", (litros)

$WF[A]$ = Huella hídrica del insumo "A", ($\frac{\text{litros}}{\text{kg}}$, $\frac{\text{litros}}{\text{GJ}}$, $\frac{\text{litros}}{\text{gal}}$, etc.)

$P[A]$ = Volumen de uso del insumo "A", (kg, GJ, gal)

Para emplear la ecuación (3.3) se consideran los insumos con agua indirecta más importantes del proceso en análisis, siendo el criterio de selección tener una participación de más del 5% del total de consumo indirecto de agua del proceso, ser insumos de mayor uso y si genera energía para el proceso. Para aplicar la ecuación (3.4) se consultó información bibliográfica de huellas hídricas de los insumos del proceso en análisis.

b) Consumo de agua en la incubación

Para determinar el consumo de agua en el proceso de incubación de nuestra zona de estudio se empleó la ecuación (3.5).

$$W_{inc} = RW_{inc} * P[\text{pollo bebé}] \quad (3.5)$$

Donde:

W_{inc} = Consumo de agua en la incubación, (litros)

RW_{inc} = Ratio de agua virtual en la incubación, ($\frac{\text{litros}}{\text{unidad}}$)

$P[\text{pollo bebé}]$ = Volumen de pollos bebé del área de estudio, (unidad)

c) Consumo de agua en la crianza

Para determinar el consumo de agua en el proceso de crianza de nuestra zona de estudio se empleó la ecuación (3.6).

$$W_{Cri} = DW_{Cri} + IW_{Cri} \quad (3.6)$$

Donde:

W_{Cri} = Consumo de agua en la crianza, (litros)

DW_{Cri} = Consumo directo de agua en la crianza, (litros)

IW_{Cri} = Consumo indirecto de agua en la crianza, (litros)

Para el cálculo del consumo de agua en la crianza se compiló información de las operaciones de una granja de crianza de pollos de engorde, el periodo de la campaña de crianza fue de 71 días, desde setiembre a noviembre del 2016.

En la ecuación (3.6) se utiliza el consumo directo de agua en la incubación (DW_{Cri}), por lo que se empleó la ecuación (3.2) para estimar este valor, que suma los consumos directos de agua azul, verde y gris de las operaciones de un proceso productivo. Por otra parte, se determinó el consumo indirecto de agua en la crianza (IW_{Cri}) empleando por segunda vez las ecuaciones de cálculo (3.3) y (3.4).

De similar forma al cálculo del ratio de agua virtual en la incubación, para emplear la ecuación (3.3) se consideran los insumos con agua indirecta más importantes del proceso en análisis, siendo el criterio de selección tener una participación de más del 5% del total de consumo indirecto de agua del proceso, ser insumos de mayor uso y si genera energía para el proceso. Para aplicar la ecuación (3.4) se consultó información bibliográfica de huellas hídricas de los insumos del proceso en análisis.

Sin embargo, para este proceso no se contó con bibliografía de la huella hídrica del insumo alimento balanceado para pollos, dado que este insumo es producido por cada empresa avícola con una formulación confidencial. Por lo tanto, se desarrolló la ecuación (3.7) para determinar la huella hídrica del alimento balanceado para pollos producido en la empresa:

$$WF[AB] = DW[AB] + IW[AB] \quad (3.7)$$

Donde:

WF[AB] = Huella hídrica del alimento balanceado, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

DW[AB] = Agua directa consumida en la producción, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

IW[AB] = Agua indirecta en los insumos para la producción, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

En esta ecuación se consideró los consumos de agua directos e indirectos (**DW[AB]** y **IW[AB]**) por cada tonelada de alimento balanceado producido.

Se calculó el agua directa consumida en la producción del alimento balanceado con la ecuación (3.8).

$$\mathbf{DW[AB]} = \mathbf{DW_{azul}[AB]} + \mathbf{DW_{verde}[AB]} + \mathbf{DW_{gris}[AB]} \quad (3.8)$$

Donde:

DW[AB] = Agua directa consumida en la producción, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

DW_{azul}[AB] = Agua directa azul consumida en la producción, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

DW_{verde}[AB] = Agua directaverde consumida en la producción, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

DW_{gris}[AB] = Agua directa gris consumida en la producción, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

Se consideran los consumos directos de agua azul, verde y gris por cada tonelada de alimento balanceado producido.

Para el cálculo de agua indirecta de los insumos para la producción de alimento balanceado (**IW[AB]**) se empleó la ecuación (3.9).

$$\mathbf{IW[AB]} = \sum_{A=1}^n \mathbf{IW[A]} \quad (3.9)$$

Donde:

IW[AB] = Agua indirecta de los insumos para la producción, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

IW[A] = Agua indirecta del insumo "A", $\left(\frac{\text{litros}}{\text{tonelada}}\right)$

n = Numero de insumos utilizados en la producción, (unidad)

Se consideró el consumo indirecto de agua por cada tonelada de alimento balanceado. El agua indirecta en cada insumo se calculó con la ecuación (3.4).

Se consideraron los insumos con agua indirecta más importantes del proceso en análisis, siendo el criterio de selección tener una participación de más del 5% del total de consumo indirecto de agua del proceso, ser insumos de mayor uso y si genera energía para el proceso. Para aplicar la ecuación (3.4) se consultó información bibliográfica de huellas hídricas de los insumos del proceso en análisis.

d) Ratio de agua virtual en el beneficio

El ratio de agua virtual en el proceso de beneficio se calculó con la ecuación (3.10).

$$RW_{Ben} = \frac{DW_{Ben} + IW_{Ben}}{P[\text{pollo beneficiado}]} \quad (3.10)$$

Donde:

RW_{Ben} = Ratio de agua virtual en el beneficio, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{kilogramo}}\right)$

DW_{Ben} = Consumo directo de agua en el beneficio, (litros)

IW_{Ben} = Consumo indirecto de agua en el beneficio, (litros)

$P[\text{pollo beneficiado}]$ = Volumen de pollo beneficiado, (kilogramo)

Para el cálculo del ratio de agua virtual en el beneficio se compiló información de producción de la planta de beneficio de la empresa, por un periodo de seis meses, desde junio a noviembre del 2016.

En la ecuación (3.10) se emplean los valores de consumo directo de agua en el beneficio (DW_{Ben}), por lo que se utilizó la ecuación (3.2) que suma los consumos directos de agua azul, verde y gris de las operaciones de un proceso productivo. Sin embargo, dado que la planta de beneficio vierte sus efluentes líquidos a un río. se requirió un cálculo especial del consumo directo de agua gris del beneficio ($DW_{gris-Ben}$), este cálculo se realizó con la ecuación (3.11).

$$DW_{gris}[Ben] = WF_{gris}[Ben] * f[Ben] * P[Carne] \quad (3.11)$$

Donde:

$DW_{gris-Ben}$ = Consumo directo de agua gris en el beneficio, (litros)

$WF_{gris-Ben}$ = Huella hídrica gris en el beneficio, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{hora}}\right)$

$f[Ben]$ = Factor de conversión, $\left(\frac{\text{hora}}{\text{kg}}\right)$

$P[Carne]$ = Volumen de pollo beneficiado, (kg)

El factor de conversión indica el tiempo en horas que toma beneficiar 1 kg de carne, este factor se calculó con la ecuación (3.12):

$$f[Ben] = \frac{1}{\frac{N^{\circ} \text{ pollos beneficiados}}{\text{hora}} * \text{Peso pollo vivo} * \% \text{Conv. Carne}} \quad (3.12)$$

Donde:

$\frac{N^{\circ} \text{ pollos beneficiados}}{\text{hora}} = 8,000$; capacidad productiva de planta

Peso pollo vivo = Peso promedio de los pollos vivos que ingresan a beneficio

$\% \text{ Conv. Carne} = \frac{\text{Peso promedio carne beneficiada de un pollo}}{\text{Peso promedio de un pollo vivo}} * 100\%$

El valor de conversión a carne beneficiada (**% Conv. Carne**) en la empresa es de **80 %**, es decir del peso total del pollo vivo, el 80% es transformado a pollo beneficiado.

Para determinar el consumo indirecto de agua en el beneficio (IW_{Ben}), se utilizó la ecuación (3.3) y (3.4).

De similar forma que la estimación del ratio de agua virtual en la incubación, para emplear la ecuación (3.3) se consideraron los insumos con agua indirecta más importantes del proceso en análisis, siendo el criterio de selección tener una participación de más del 5% del total de consumo indirecto de agua del proceso, ser insumos de mayor uso y si genera energía para el proceso. Para aplicar la ecuación (3.4) se consultó información bibliográfica de huellas hídricas de los insumos del proceso en análisis.

e) Consumo de agua en el beneficio

El consumo de agua en el proceso de beneficio de la zona de estudio se estimó con la ecuación (3.13).

$$W_{Ben} = RW_{Ben} * P[\text{pollo beneficiado}] \quad (3.13)$$

Donde:

W_{Ben} = Consumo de agua en el beneficio, (litros)

RW_{Ben} = Ratio de agua virtual en el beneficio, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{kg}}\right)$

$P[\text{pollo beneficiado}]$ = Volumen de pollo beneficiado del área de estudio, (kg)

f) Huella hídrica del pollo vivo

La huella hídrica del producto pollo vivo se estimó con la ecuación (3.14).

$$WF[\text{pollo vivo}] = \frac{W_{Inc} + W_{Cri}}{P[\text{pollo vivo}]} \quad (3.14)$$

Donde:

$WF[\text{pollo vivo}]$ = Huella hídrica del pollo vivo, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{kilogramo}}\right)$

W_{Inc} = Consumo de agua en la incubación, (litros)

W_{Cri} = Consumo de agua en la crianza, (litros)

$P[\text{pollo vivo}]$ = Volumen de pollos vivos del área de estudio, (kilogramo)

Los consumos de agua en la incubación y crianza de la zona de estudio se estimaron con las ecuaciones (3.5) y (3.6).

g) Huella hídrica del pollo beneficiado

La huella hídrica del producto pollo beneficiado se estimó con la ecuación (3.15).

$$WF[\text{pollo vivo}] = \frac{W_{Inc} + W_{Cri} + W_{Ben}}{P[\text{pollo beneficiado}]} \quad (3.15)$$

Donde:

$WF[\text{pollo beneficiado}]$ = Huella hídrica del pollo beneficiado, $\left(\frac{\text{litros}}{\text{kg}}\right)$

W_{Inc} = Consumo de agua en la incubación, (litros)

W_{Cri} = Consumo de agua en la crianza, (litros)

W_{Ben} = Consumo de agua en el beneficio, (litros)

$P[\text{pollo beneficiado}]$ = Volumen de pollo beneficiado del área de estudio, (kg)

Los consumos de agua en la incubación, crianza y beneficio de la zona de estudio se estimaron con las ecuaciones (3.5), (3.6) y (3.13).

3.4.3. ELABORACIÓN DE PROPUESTAS DE REDUCCIÓN DE HUELLA HÍDRICA

Las propuestas de reducción de huella hídrica en la producción de pollos de engorde se elaboraron a partir de la identificación de procesos en la producción de pollos de engorde, la cuantificación consumos de agua directa e indirecta de los procesos y la estimación de la huella hídrica, básicamente se desarrollaron propuestas que permitan reducir el agua directa utilizada en los procesos. Asimismo, las propuestas desarrolladas están orientadas a formar cadenas de reúso y recuperación de agua entre actividades de los procesos en producción de pollos de engorde, se siguieron los lineamientos de reducción de huella hídrica descritos en "The Water Footprint Assessment Manual: Setting The Global Standard" (Hoekstra, et.al, 2011).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. IDENTIFICACIÓN DE PROCESOS EN LA PRODUCCIÓN DE POLLOS DE ENGORDE

Se identificaron todos los procesos e insumos en la producción de pollos de engorde, observándose que existen etapas productivas relacionadas a ella, como la incubación de pollos bebé, la elaboración de alimento balanceado para pollos y el beneficio. Además, se determinó dos productos, el pollo vivo y el pollo beneficiado.

A continuación, se describen los procesos en la producción de pollos de engorde:

4.1.1. INCUBACIÓN

El proceso de incubación de pollos bebé inicia con la recepción de huevos incubables, los cuales son embandejados, almacenados y posteriormente enviados a incubación por 21 días. Luego, nacen los pollos bebé que son enviados inmediatamente a su procesamiento, en donde son seleccionados, vacunados y sexados. Por último, los pollos bebé son despachados hacia las granjas de crianza de pollos de engorde. Todo este proceso es realizado en una planta industrial de la empresa, ubicada en el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima. En la Figura 11 se presenta la ubicación de la planta de incubación, asimismo en el Anexo 5 se presenta el plano de ubicación.



Figura 11: Ubicación planta de incubación

FUENTE: Elaboración propia

En la Figura 12 se muestran los procesos, entradas y salidas en la incubación de pollos bebé en una planta industrial, en esta etapa productiva se consume como insumo principal los huevos incubables. Asimismo, se utiliza agua de un pozo subterráneo, ubicado en el mismo predio, y energía eléctrica de la red pública. La energía eléctrica es utilizada para el funcionamiento de maquinaria y equipos de acondicionamiento ambiental (temperatura y humedad) de las salas de recepción, embandejado, almacenamiento, cámaras de incubación y salas de procesado. Este acondicionamiento es trascendental para permitir un óptimo ambiente de conservación de los huevos incubables y la incubación por 21 días. En la incubación de pollos bebé se consumen otros insumos en menor cantidad tales como vacunas, papel periódico picado, cajas de cartón y otros.

Se identificó como salida del proceso la generación de efluentes líquidos, los cuales provienen de las purgas de agua de los equipos de acondicionamiento ambiental.

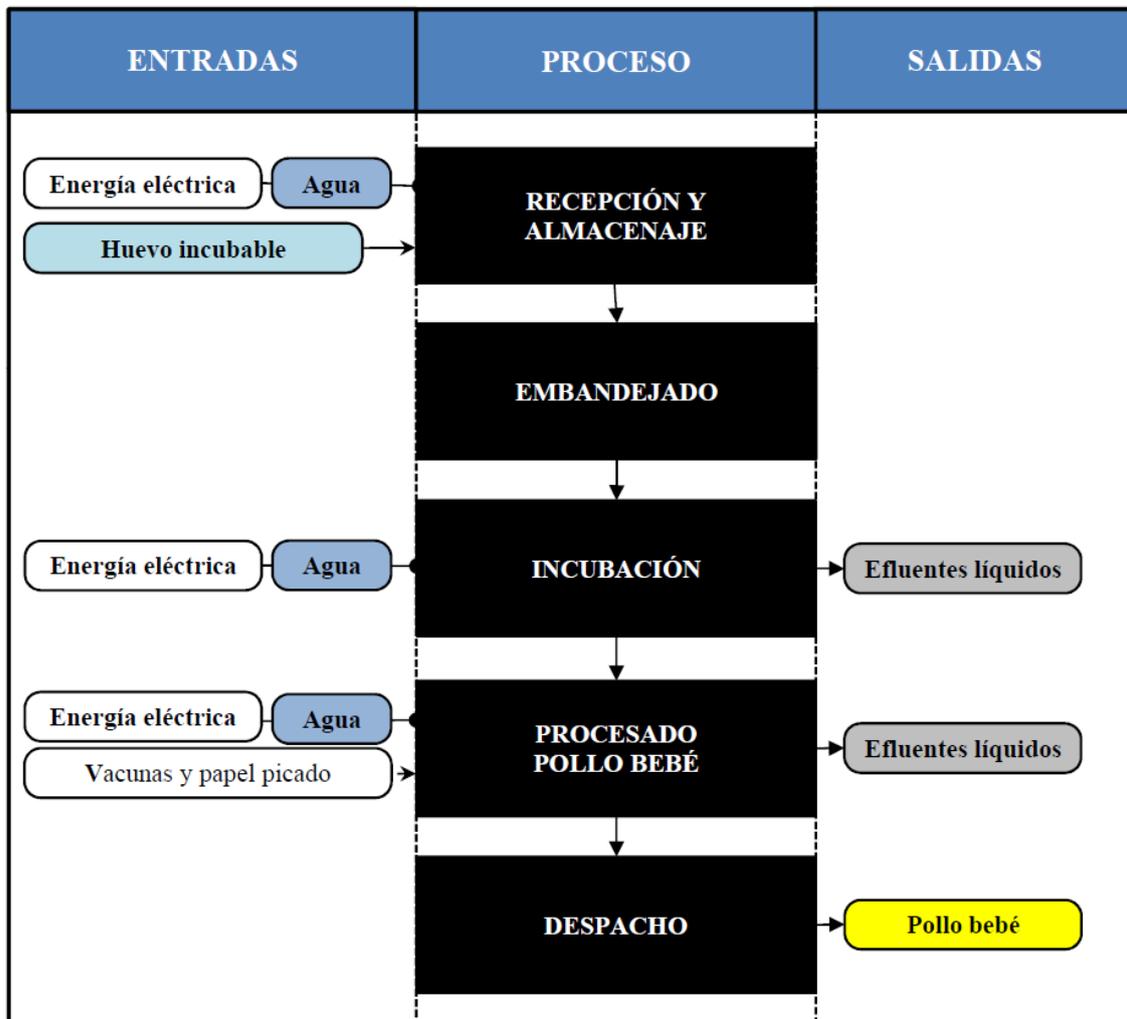


Figura 12: Diagrama del proceso de incubación

FUENTE: Elaboración propia

La incubación de pollos bebé requiere el soporte de procesos complementarios los cuales permiten asegurar sus condiciones sanitarias y operativas. En la Figura 13 se muestran los procesos complementarios de la incubación de pollos bebé, siendo clave el duchado del personal y visitas como medida para prevenir la transmisión de vectores dentro de planta, en este proceso se consumen en mayor cantidad insumos de GLP y jabón líquido. Asimismo, el lavado de ambientes, equipos e indumentaria es fundamental para asegurar la sanidad de la planta. En esta actividad se consume en mayor cantidad energía eléctrica e insumos de detergente y desinfectantes. Estos dos procesos mencionados consumen la mayor cantidad de agua en las operaciones de la

planta de incubación, además, generan la mayor cantidad de efluentes líquidos, los cuales son tratados y vertidos hacia la red de alcantarillado público. Finalmente, tenemos el proceso complementario de suministro de energía eléctrica alterna, generado a partir diesel, el cual es importante ante contingencias.

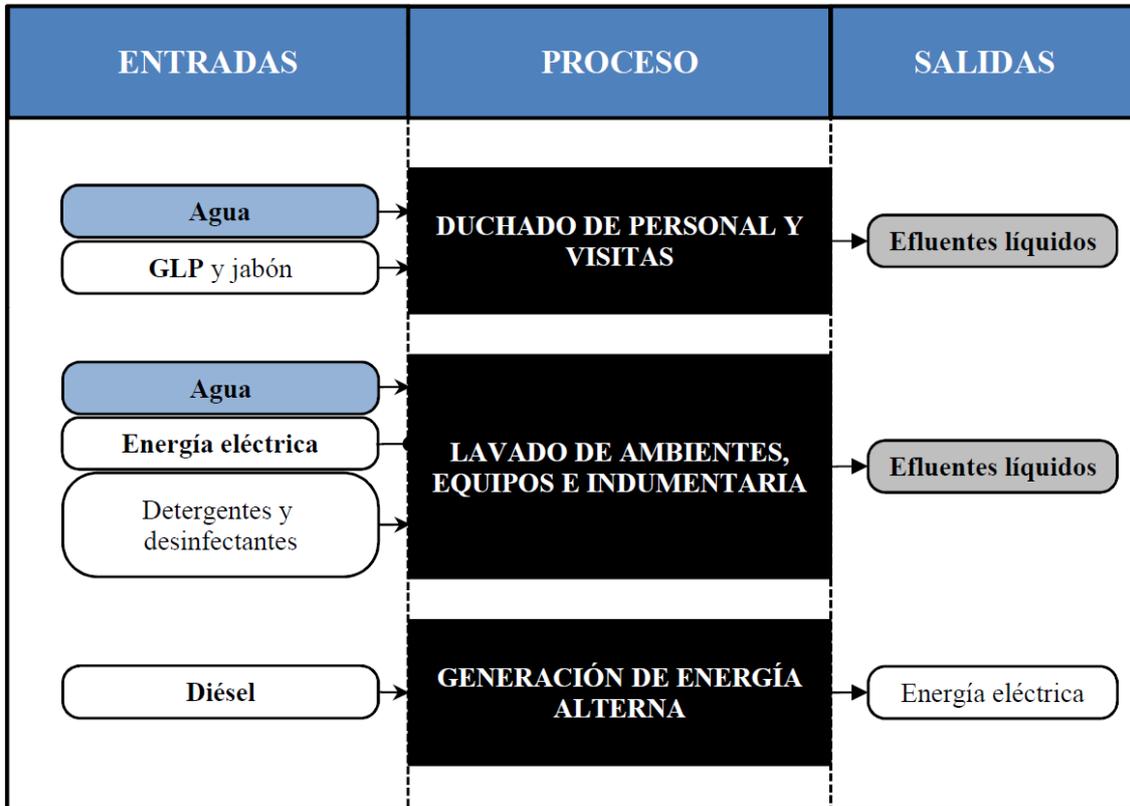


Figura 13: Diagrama de procesos complementarios de incubación

FUENTE: Elaboración propia

4.1.2. ELABORACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO

El proceso de elaboración de alimento balanceado es trascendental en la crianza de pollos de engorde pues el alimento influye directamente en la conversión alimenticia a carne, es decir el peso de carne ganada por el animal por kilogramo de alimento administrado. Asimismo, este parámetro productivo es muy importante en el negocio de pollos ya que influye en el desarrollo y salud del animal. Dada esta importancia la mayor parte de empresas avícolas con grandes niveles de producción optan por desarrollar su propia fórmula, comprar sus insumos y producir su propio alimento. Este es el caso de la empresa en estudio, la cual cuenta con una planta de producción de alimento balanceado para pollos, la planta está ubicada en el distrito de Chancay, provincia de Huaral, departamento de Lima. Este lugar es estratégico, dado que

alrededor de este distrito se encuentran las zonas de mayor concentración de granjas de pollos de engorde. En la Figura 14 se presenta la ubicación de la planta, asimismo en el Anexo 6 se presenta el plano de ubicación.



Figura 14: Ubicación planta de alimentos balanceados

FUENTE: Elaboración propia

Los tipos de alimento balanceado producidos en la planta son los siguientes: Preinicio, Inicio, Acabado, Terminador y Finalizador; cada tipo de alimento es producido a partir de una fórmula confidencial determinada por la empresa y se administra según la edad del pollo.

El proceso de elaboración de alimento balanceado inicia con la dosificación y molienda de macroinsumos. A la mezcla obtenida se le adiciona los insumos intermedios y microinsumos; ambas dosificaciones son realizadas a partir del tipo de alimento balanceado a producir, por lo que pueden variar las proporciones de macroinsumos,

insumos intermedios y microinsumos. Luego, se mezclan todos los insumos hasta su homogenización. La mezcla obtenida es alimentada con vapor para formar una masa semisólida, posteriormente esta masa es conducida a una peletizadora para formar los pellets de alimento con el espesor del tipo de alimento. Los pellets formados son enfriados y quebrantados. Finalmente, el alimento balanceado producido es almacenado en tolvas y despachado según requerimiento a las granjas de pollos de engorde.

En la Figura 15 se muestran los procesos, entradas y salidas de la elaboración de alimento balanceado para pollos en una planta industrial, en este proceso se consume en mayor cantidad macroinsumos tales como el maíz y torta de soya importada de Estados Unidos (85% P/P del alimento balanceado), asimismo se consumen en menor cantidad insumos intermedios conformados por harina integral de soya importada de Estados Unidos (10% P/P del alimento balanceado), aceite crudo de soya nacional (1.5% P/P del alimento balanceado), carbonato de calcio, sal, harina de pescado y otros insumos de procedencia nacional (2% del total en promedio); y en muchísimo menor cantidad microinsumos, conformado por vitaminas y aminoácidos (1.5% del total en promedio).

El proceso de elaboración de alimento balanceado requiere el uso de vapor de agua y energía eléctrica, este último es necesario para el funcionamiento de los equipos y maquinaria de producción (transportadores, elevadores, ventiladores, recuperadores, alimentadores, mezcladoras, extrusoras, peletizadores, acondicionadores, entre otros).

El proceso de elaboración de alimento balanceado no genera salidas de efluentes líquidos, solo existe incorporación de agua al producto a través de la inyección de vapor.

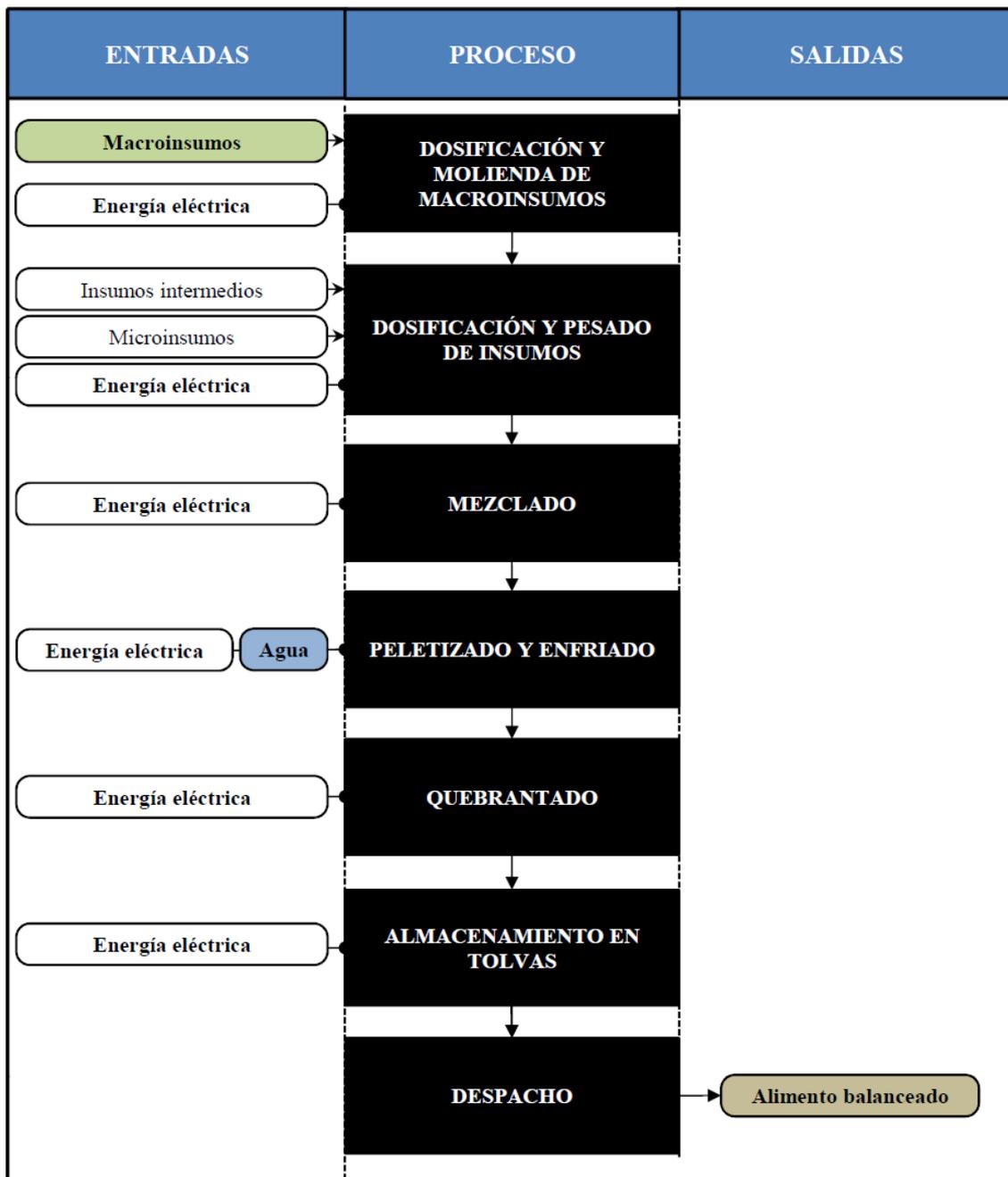


Figura 15: Diagrama del proceso de elaboración de alimento balanceado

FUENTE: Elaboración propia

La elaboración de alimento balanceado requiere el soporte de procesos complementarios que permiten asegurar condiciones de operatividad e inocuidad. En la Figura 16 se muestran los procesos complementarios de la elaboración de alimento balanceado, siendo importante la generación de vapor, el cual es generado en un caldero que funciona a GLP y agua. Otro proceso a considerar es el lavado de indumentarias y ambientes, en esta actividad se utiliza agua e insumos de detergente y desinfectantes.

Estos procesos mencionados generan efluentes líquidos, los cuales son vertidos a la red de alcantarillado público. Por último, tenemos el proceso complementario de suministro de energía eléctrica alterna, generado a partir diesel, el cual es importante ante contingencias.

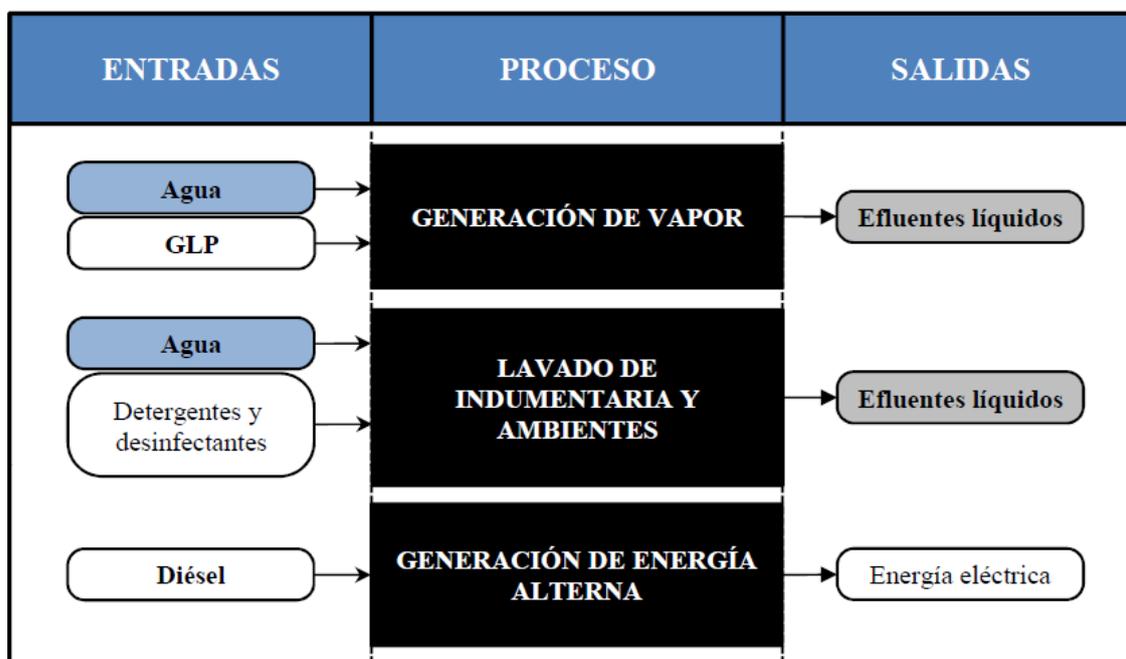


Figura 16: Diagrama de procesos complementarios de la elaboración de alimento balanceado

FUENTE: Elaboración propia

4.1.3. CRIANZA DE POLLOS DE ENGORDE

Este proceso es el principal de todos los procesos de producción del pollo de engorde, dado que origina el producto pollo vivo. La crianza de pollos se lleva a cabo en granjas con galpones. Estos galpones están contruidos de material noble, madera y tela arpillera; presentan equipamiento para la crianza, tales como comederos, bebederos, ventiladores, criadoras y focos de iluminación. Los insumos utilizados en la crianza son los pollos bebé, el agua, alimento balanceado, GLP, desinfectantes y vacunas. La fuente de energía eléctrica para el funcionamiento de todo el equipamiento para la crianza y también de ambientes externos, proviene de grupos electrógenos a GLP. La granja de la zona de estudio está ubicada en el distrito de Huacho, provincia de Huaura, departamento de Lima. En la Figura 17 se presenta la ubicación de la granja en estudio, asimismo en el Anexo 7 se presenta el plano de ubicación.



Figura 17: Ubicación granja de pollos de engorde

FUENTE: Elaboración propia

El proceso de crianza empieza con la desinfección y limpieza general de toda la granja, en esta proceso se retira el guano de los galpones generado en la campaña anterior de crianza. Seguidamente se lavan y desinfectan el equipamiento de crianza, galpones, almacenes de suministros, oficinas, baños, duchas y demás ambientes. Luego, se acondicionan los galpones ubicando las criadoras, bebederos, comederos, cortinas y lámparas; se agrega cascarilla de arroz como material de cama para la recepción de pollos bebé.

La crianza, propiamente dicha, inicia con el ingreso de pollitos bebé a todos los galpones de la granja. En los galpones se maneja el suministro de alimento, agua, medicamentos, vacunas y condiciones ambientales (temperatura y ventilación). Este manejo se realiza durante todo el desarrollo del animal, y es monitorizado continuamente para garantizar buenos rendimientos productivos. La crianza de nuestra

zona de estudio tuvo una duración de 71 días, de los cuales los primeros 25 días fueron para la desinfección y limpieza de granja, los 46 días restantes fueron netamente para crianza. El peso promedio de los pollos vivos de la zona de estudio fue de 2.314 kilogramos. Finalmente, el proceso finaliza con la saca que consiste en capturar las aves y transportarlas a centros de distribución mayorista o plantas de beneficio.

En la Figura 18, se muestran los procesos, entradas y salidas en la crianza. El insumo de entrada pollo bebé proviene de la planta de incubación de la empresa. El agua utilizada en granja proviene de un pozo subterráneo ubicado en lugar aledaño a la granja en la provincia de Huaura. El alimento proviene de la planta de alimentos balanceados de la empresa.

En este proceso se consumieron en mayor cantidad los insumos de agua, alimento balanceado y GLP. Las salidas identificadas son los efluentes líquidos de agua residual de lavado y purga de agua de tuberías de bebederos, estos efluentes son enviados a pozos sépticos en donde se infiltran.

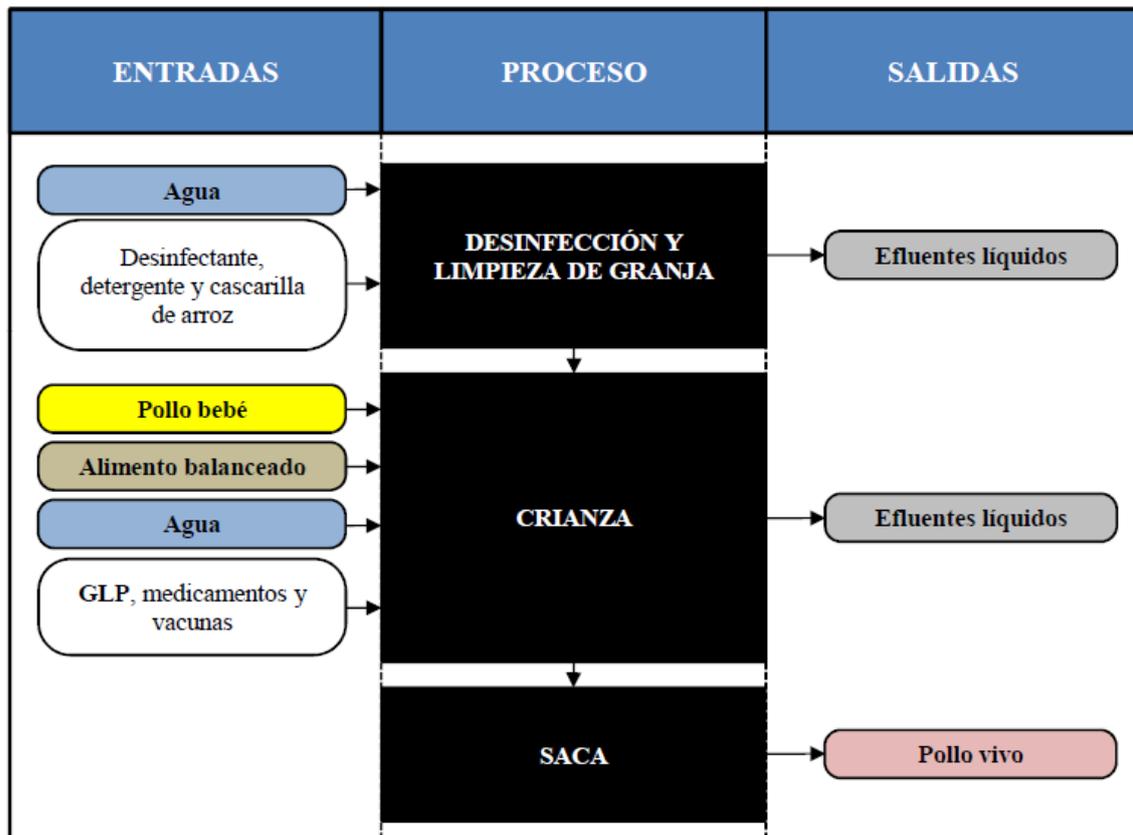


Figura 18: Diagrama del proceso de crianza de pollos de engorde

FUENTE: Elaboración propia

La crianza de pollos de engorde requiere el soporte de procesos complementarios, los cuales permiten asegurar condiciones sanitarias y operativas adecuadas. En la Figura 19 se muestran los procesos complementarios de la crianza de pollos de engorde, siendo resaltante el duchado del personal y visitas como medida para prevenir la transmisión de vectores dentro de granja, en esta actividad se utiliza agua, GLP y jabón líquido. De similar manera, se realiza la desinfección de indumentaria, vehículos y suministros, siendo fundamental para asegurar la sanidad de la granja; en esta actividad se utiliza agua, detergente y desinfectantes. Por otra parte, se realizan actividades de compostaje, en donde se transportan y descomponen las aves muertas y el material de cama con guano. También, se realizan actividades domésticas, servicios higiénicos y generación de energía eléctrica a partir de GLP.

Los procesos complementarios de crianza de pollos de engorde generan salidas de efluentes líquidos de agua residual, las actividades generadoras son las siguientes:

- Duchado de personal propio, visitas y terceros
- Lavado y desinfección de indumentaria, vehículos y equipo de crianza avícola
- Purgado de líneas de abastecimiento de agua a bebederos
- Uso de servicios higiénicos

Estos efluentes líquidos son enviados a trampas de sólidos para posteriormente ser vertidos a pozos sépticos en donde se infiltran en el suelo.

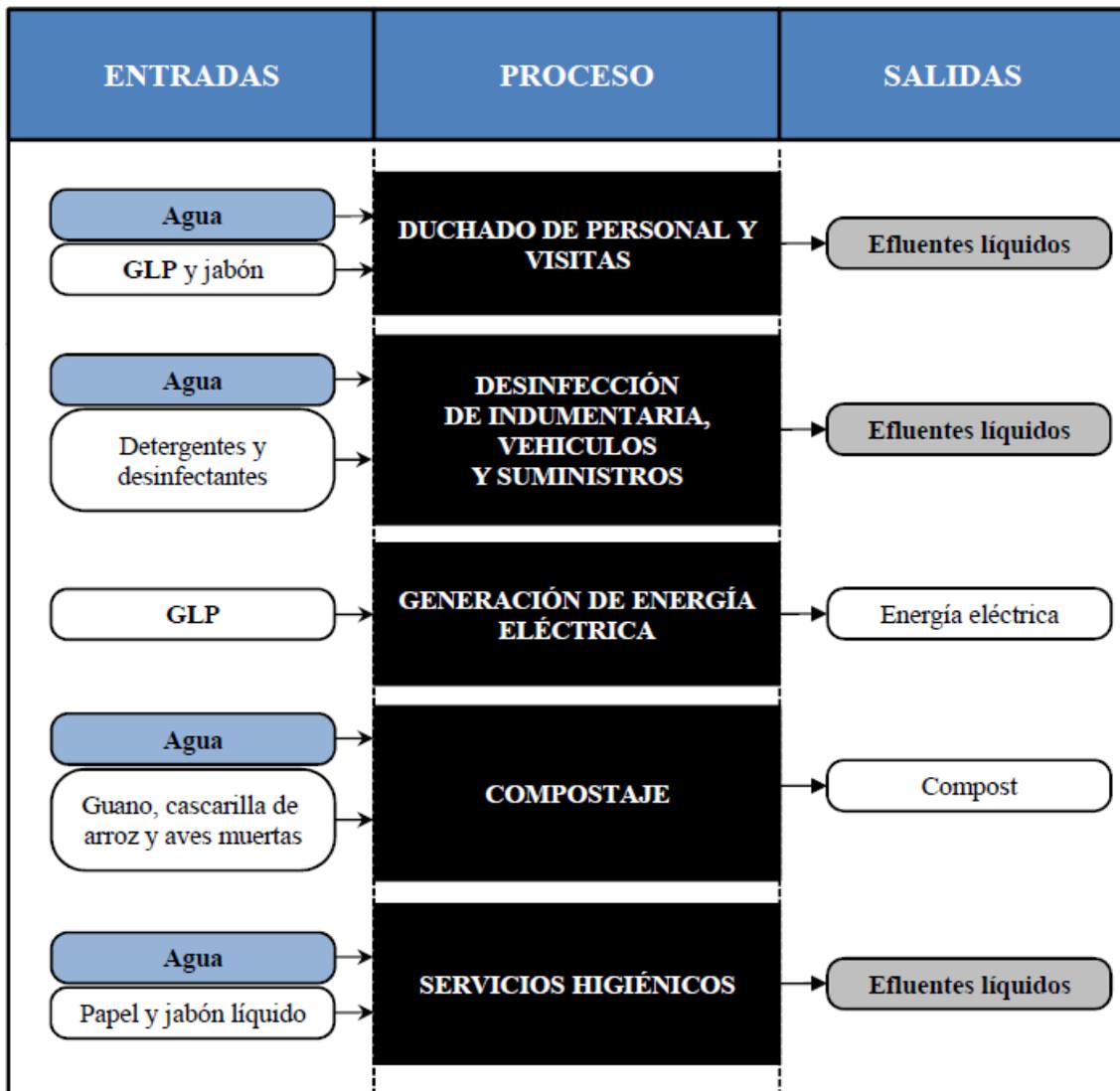


Figura 19: Diagrama de procesos complementarios de crianza de pollos de engorde
FUENTE: Elaboración propia

4.1.4. BENEFICIO

El beneficio es el proceso final en la producción de pollos de engorde, en ella se aprovecha parte de la producción de pollos vivos procedente de las granjas de crianza. La empresa en estudio cuenta con una planta de beneficio de pollos ubicada en el distrito de Huaral, provincia de Huaral, departamento de Lima. En la Figura 20 se presenta la ubicación de la planta de beneficio, asimismo en el Anexo 8 se presenta el plano de ubicación.

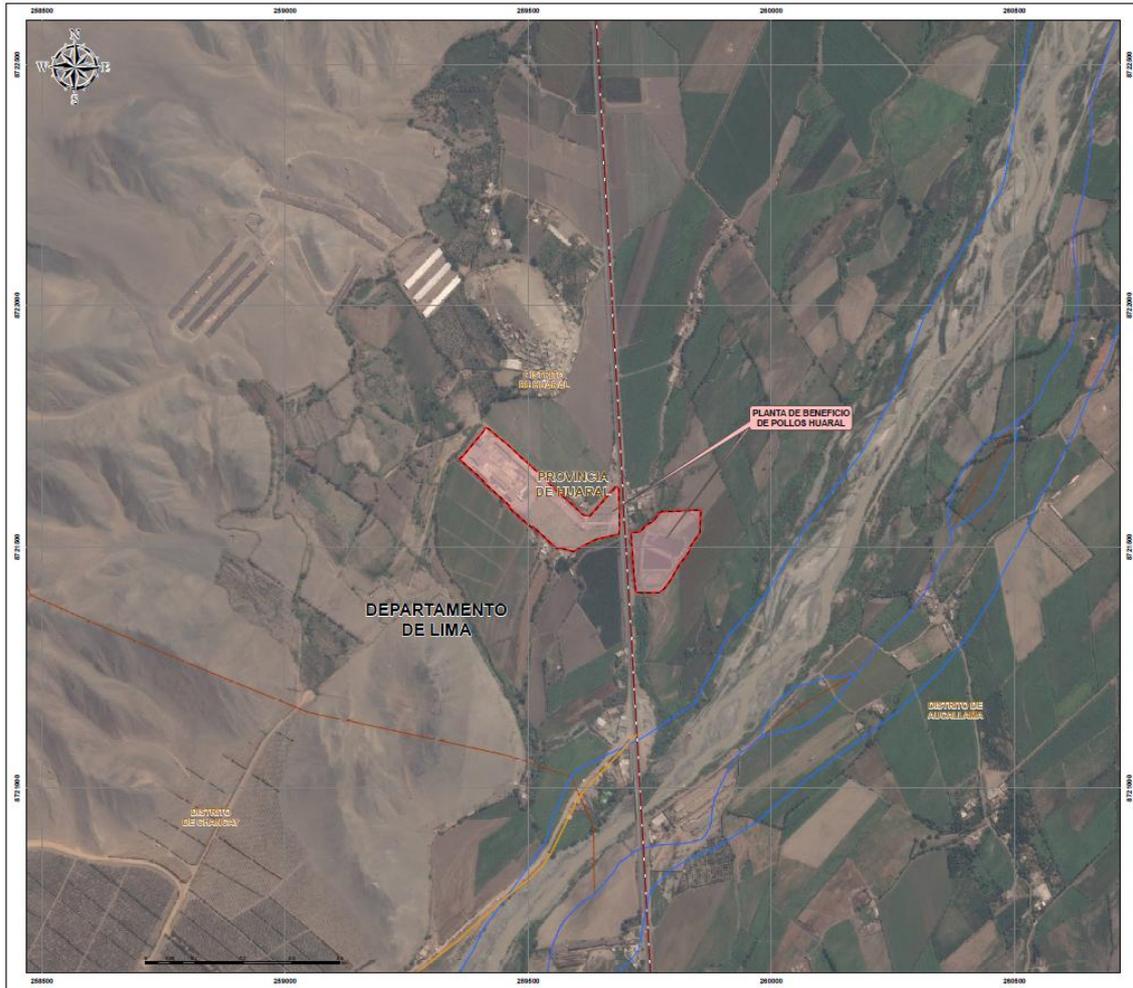


Figura 20: Ubicación planta de beneficio de pollos

FUENTE: Elaboración propia

El proceso de beneficio inicia con la recepción de pollos vivos de las granjas de la empresa. Estos pollos son trasladados en jabas hacia el área de recepción de la planta, en donde son colgados de las patas en ganchos de transporte. Los pollos colgados son trasladados hacia el área de aturdimiento, en donde son insensibilizados mediante una descarga eléctrica graduable. Luego, los pollos son degollados cuidadosamente por un operario, para permitir un correcto desangrado. Los pollos desangrados son enviados a los escaldadores, en donde son sumergidos en agua caliente para facilitar el desprendimiento de las plumas, después, son trasladados a el área de pelado y corte de cabeza, cloaca y patas; en donde se realiza la extracción de plumas mediante el uso de peladoras mecánicas, posteriormente, se realiza el corte mecánico de cabeza, cloaca y patas. Los pollos pelados y sin patas (carcasa de pollo) son enviados a el área de eviscerado en donde se extraen las menudencias y apéndices, asimismo durante esta

actividad se realiza el lavado continuo de cada carcasa de pollo. Posteriormente, las carcasas de pollo son desinfectadas con agua clorada, se les retira del gancho y son enviadas a un sistema de chillers con agua helada, en donde permanecen por un tiempo total de una hora hasta llegar a una temperatura promedio de 1°C. Luego, las carcasas de pollo son enviadas al área de escurrido, trozado y fileteado; en donde son nuevamente colgadas en ganchos para su escurrimiento, luego del escurrido las carcasas son pesadas y enviadas a el área de trozado y fileteado, en donde son manejadas de acuerdo al tipo de corte indicado en el plan de producción. La planta de beneficio produce el producto pollo beneficiado en presentaciones de carcasas entera, piernas, pechos, filetes y otros similares. Finalmente, los cortes de carne de pollo y las carcasas enteras son empacados y transportados a las cámaras de almacenamiento para su posterior despacho.

En la Figura 21 se muestran los procesos, entradas y salidas en el beneficio de pollos, en esta etapa productiva se consumen en mayor cantidad agua y energía eléctrica. El agua proviene de dos pozos subterráneos ubicados en el mismo predio dela planta y la energía eléctrica de la red pública. La energía eléctrica es utilizada para el funcionamiento de los equipos y maquinaria de producción (ventiladores, transportadores, lavadores, extractores, secadores, aturdidores, escaldadores, peladoras, bombas, cortadoras, chillers, trozadora, selladoras, balanzas, compresores, condensadores, evaporadores, entre otros). Asimismo, se utilizan insumos en menor cantidad del tipo de desinfectantes.

El proceso de beneficio de pollos genera salidas de efluentes líquidos, los cuales provienen de la descarga de pollos, degollado-sangrado, escaldado, eviscerado, enfriado, escurrido, trozado y fileteado. Estos efluentes líquidos poseen una alta carga contaminante, por lo que son enviados a una planta de tratamiento de aguas residuales para su manejo.

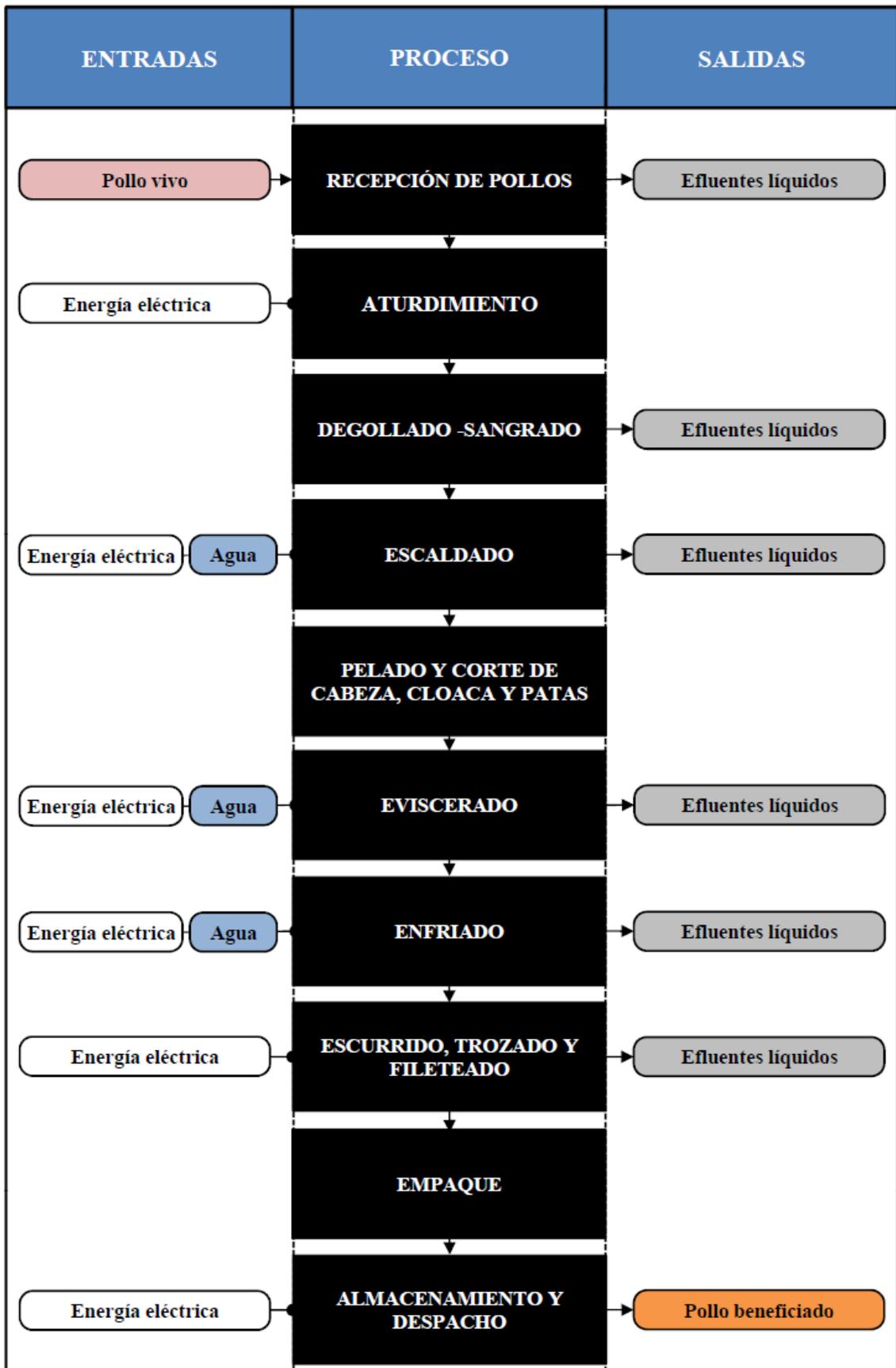


Figura 21: Diagrama del proceso de beneficio

FUENTE: Elaboración propia

El proceso de beneficio en una planta requiere el soporte de procesos complementarios, los cuales permiten asegurar condiciones de inocuidad y operatividad. En la Figura 22 se muestran los procesos complementarios del beneficio de pollos, siendo importante la generación de vapor, el cual es formado en un caldero que funciona a GLP. Otro proceso importante es el lavado de indumentarias y ambientes, que permite garantizar la inocuidad de la planta y el personal, en este proceso se consume agua e insumos del tipo detergente y desinfectantes. Estos dos procesos mencionados generan efluentes líquidos, los cuales son enviados a la planta de tratamiento de aguas residuales. En esta planta se tratan todos los efluentes líquidos generados en el proceso de beneficio y sus complementarios, luego los efluentes tratados son vertidos al cuerpo de agua receptor que es el río Chancay-Huaral. Por último, tenemos el proceso complementario de suministro de energía eléctrica alterna, generado a partir diesel, el cual es importante ante contingencias.

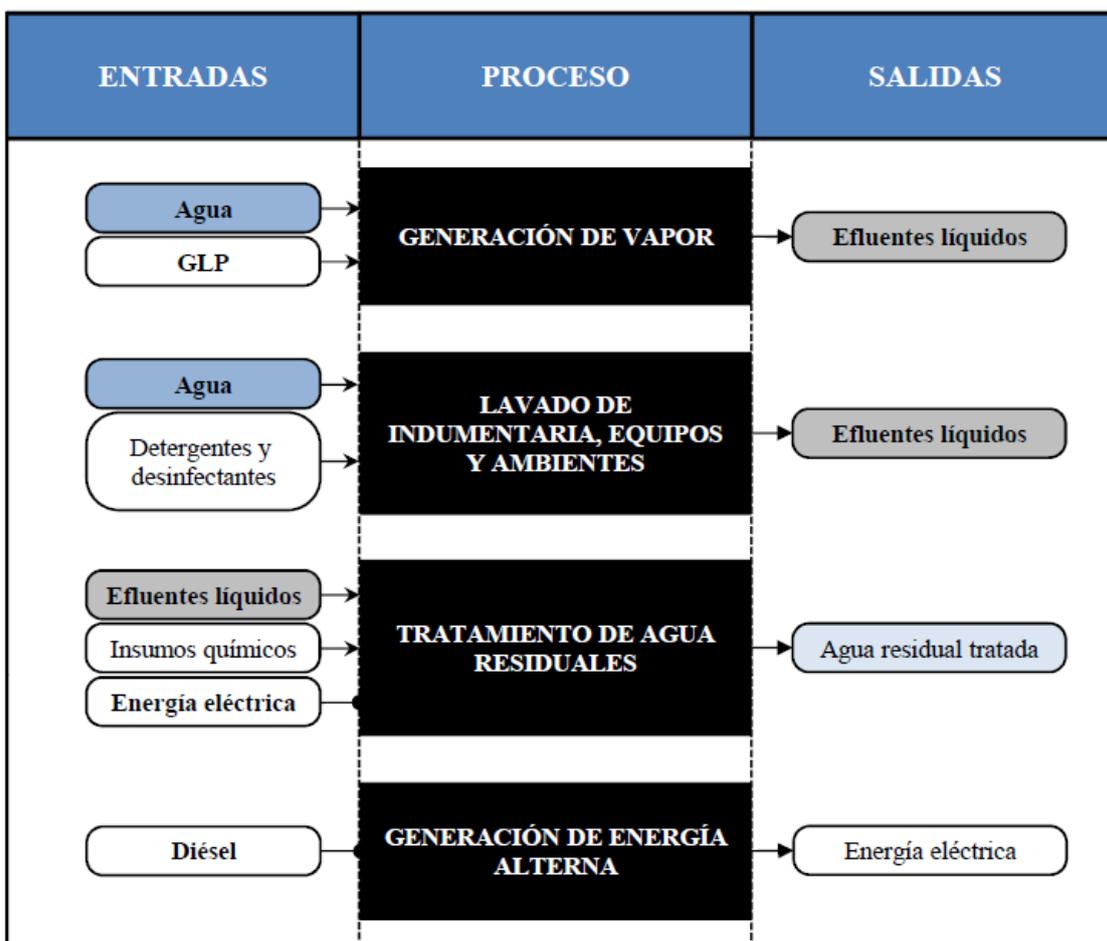


Figura 22: Diagrama de procesos complementarios del beneficio

FUENTE: Elaboración propia

4.2. ESTIMACIÓN DE HUELLA HÍDRICA

En primer lugar, se calculan los ratios de agua virtual de los procesos de incubación y beneficio. Luego, se calculan los consumos de agua en los procesos de incubación, crianza y beneficio. Finalmente, se estima la huella hídrica del pollo vivo y beneficiado partir del cociente de los consumos de agua entre volumen de producción de la zona de estudio, pollo vivo y pollo beneficiado respectivamente.

4.2.1. ESTIMACIÓN DEL RATIO DE AGUA VIRTUAL EN LA INCUBACIÓN

Empleando la ecuación (3.1) se estimó el ratio de agua virtual en la incubación (ver Tabla 1).

Tabla 1: Ratio de agua virtual en la incubación

DW_{Inc}	IW_{Inc}	$DW_{Inc}+IW_{Inc}$	P[pollo bebé]	RW_{Inc}
litros	litros	litros	und	litros/und
12,396,890	2,795,019,612	2,807,416,502	12,229,912	229.55
0.44%	99.56%	100.00%		

FUENTE: Elaboración propia

Los cálculos del consumo directo e indirecto de agua en incubación (DW_{Inc} y IW_{Inc}) y volumen de producción de pollos bebé (P[pollo bebé]) para los seis meses de estudio se detallan en el ANEXO 1.

El ratio de agua virtual en la incubación, resultante en el Tabla 1, nos indica que se utilizan 229.55 litros de agua para incubar 1 pollo bebé. El 0.44% (1.01 litros) está compuesta de agua directa, es decir agua utilizada en el mismo tiempo y lugar de incubación; mientras que el 99.56% (228.54 litros) está compuesta de agua indirecta, agua que fue utilizada en otro tiempo y lugar para producir los insumos utilizados en la incubación. En el Tabla 2 se resume lo indicado.

Tabla 2: Resumen – Ratio de agua virtual en la incubación

RW_{DW-Inc}	RW_{IW-Inc}	RW_{Inc}
Litros/und	Litros/und	Litros/und
1.01	228.54	229.55

FUENTE: Elaboración propia

4.2.2. ESTIMACIÓN DEL RATIO DE AGUA VIRTUAL EN EL BENEFICIO

Empleando la ecuación (3.10) se estimó el ratio de agua virtual en el beneficio (ver Tabla 3).

Tabla 3: Ratio de agua virtual en el beneficio

DW_{Ben}	IW_{Ben}	$DW_{Ben} + IW_{Ben}$	P[pollo beneficiado]	RW_{Ben}	RW_{Ben}
m^3	m^3	m^3	kg	m^3/kg	litros/kg
5,885,405.31	308,835.52	6,194,240.83	36,835,874	0.1682	168.16
95.01%	4.99%	100.00%			

FUENTE: Elaboración propia

Los cálculos del consumo directo e indirecto de agua en el beneficio (DW_{Ben} y IW_{Ben}) y volumen de producción de pollo beneficiado (P[pollo beneficiado]) para los seis meses de estudio se detallan en el ANEXO 4.

El ratio de agua virtual resultante en el Tabla 3, nos indica que se utilizan 168.16 litros de agua para beneficiar 1 kg de pollo beneficiado. El 95% (159.77 litros) está compuesto de agua directa, es decir el agua utilizada en el mismo tiempo y lugar del beneficio; mientras que el 5% (8.38 litros) está compuesto de agua indirecta, agua que fue utilizada en otro tiempo y lugar para producir los insumos utilizados en el beneficio. En el Tabla 4 se resume lo indicado.

Tabla 4: Resumen – Ratio de agua virtual en el beneficio

RW_{DW-Ben}	RW_{IW-Ben}	RW_{Ben}
litros/kg	litros/kg	litros/kg
159.77	8.38	168.16

FUENTE: Elaboración propia

4.2.3. CONSUMO DE AGUA EN LA INCUBACIÓN DE POLLOS BEBÉ DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se empleó la ecuación (3.5) para determinar el consumo de agua en la producción de 432,262 pollos bebé que ingresaron a la granja de estudio (ver Tabla 5).

Tabla 5: Consumo de agua en la incubación de pollos bebé

RW_{Inc}	P[pollo bebé]	W_{Inc}
litros/und	und	litros
229.55	432,262	99,227,181.92

FUENTE: Elaboración propia

4.2.4. CONSUMO DE AGUA EN LA CRIANZA DE POLLOS DE ENGORDE DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se empleó la ecuación (3.6) para determinar el consumo de agua en la crianza de los 432,262 pollos de engorde de la granja de estudio (ver Tabla 6).

Tabla 6: Consumo de agua en la crianza de pollos de engorde

DW_{Cri}	IW_{Cri}	W_{Cri}
litros	litros	litros
3,860,390	1,341,671,611.15	1,345,532,001.15
0.29%	99.71%	100.00%

FUENTE: Elaboración propia

Para determinar el consumo de agua en la crianza de pollos de engorde se estimó previamente la huella hídrica del alimento balanceado ($WF[AB]$), los cálculos se detallan en el ANEXO 2.

Los cálculos del consumo directo e indirecto de agua en crianza (DW_{Cri} y IW_{Cri}) se detallan en el ANEXO 3.

4.2.5. CONSUMO DE AGUA EN EL BENEFICIO DE POLLOS VIVOS DE LA ZONA DE ESTUDIO

Se empleó la ecuación (3.13) para determinar el consumo de agua en el beneficio de los 412,584 pollos de engorde provenientes de la granja de estudio. Esta cantidad de pollos produce 763,755.59 kilogramos de pollo beneficiado (ver Tabla 7).

Tabla 7: Consumo de agua en el beneficio de pollos vivos

RW_{Ben}	P[pollo beneficiado]	W_{Ben}
litros/kg	kg	litros
168.16	763,775.50	128,436,488.21

FUENTE: Elaboración propia

4.2.6. HUELLA HÍDRICA DEL POLLO VIVO

Con la información de consumos de agua en la incubación y crianza de los Tablas 5 y 6 se empleó la ecuación (3.14) para estimar la huella hídrica del pollo vivo (ver Tabla 8).

Tabla 8: Huella hídrica del pollo vivo

W_{Inc}	W_{Cri}	$W_{Inc} + W_{Cri}$	P[pollo vivo]	WF[pollo vivo]
litros	litros	litros	kg	litros/kg
99,227,181.92	1,345,532,001.15	1,444,759,183.07	954,719.38	1,513.28
6.87%	93.13%	100.00%		

FUENTE: Elaboración propia

La huella hídrica del pollo vivo (WF[pollo vivo]) es de 1,513.28 litros de agua por kilogramo de pollo vivo.

El 6.87% de la huella hídrica del pollo vivo está compuesta de agua consumida en la incubación, cuyo 99.56 % está compuesto de agua indirecta proveniente del insumo huevo incubable, el 0.44% restante está compuesto de agua directa utilizada en las operaciones de incubación.

El 93.13% de la huella hídrica del pollo vivo está compuesta de agua consumida en la crianza, cuyo 99.71% está compuesto de agua indirecta proveniente del alimento balanceado, el 0.29% restante está compuesto de agua directa utilizada en las operaciones de crianza.

En la Figura 23 se observa gráficamente la composición de agua directa e indirecta de cada proceso (incubación y crianza) en la producción del pollo vivo.

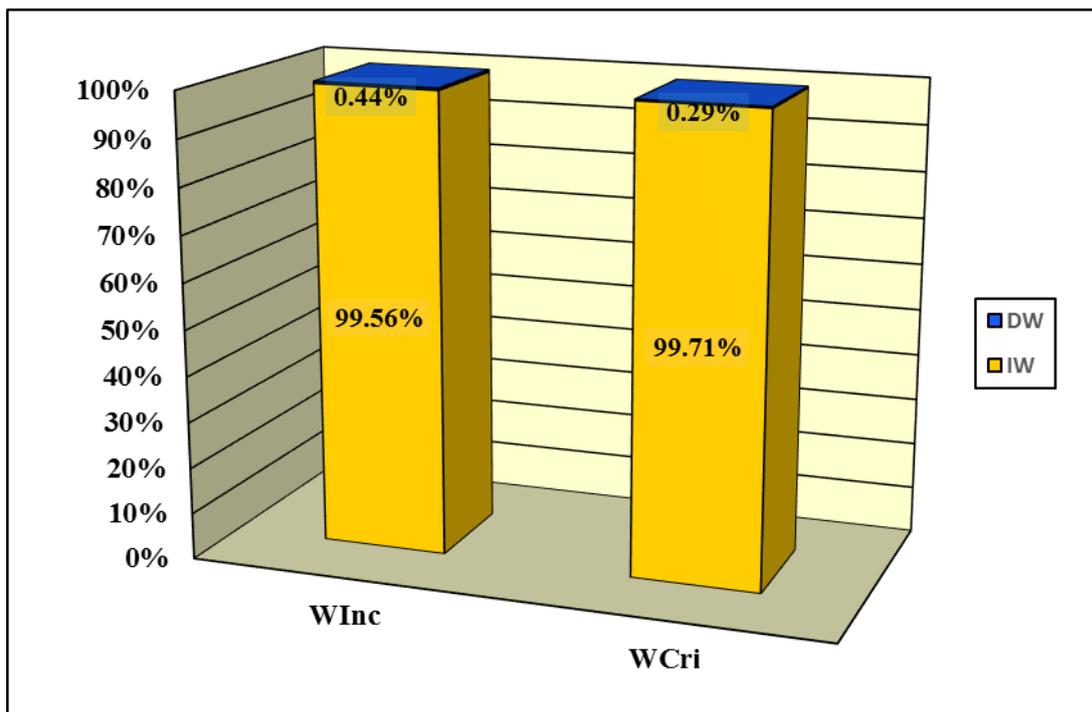


Figura 23: Composición de agua directa e indirecta en los procesos de producción del pollo vivo

FUENTE: Elaboración propia

Determinada la composición en porcentaje de agua directa e indirecta de cada proceso en la producción del pollo vivo. Se establece que la huella hídrica del pollo vivo está compuesta por 1,405.26 litros de agua indirecta consumida para producir el alimento balanceado utilizado en la crianza, 103.47 litros pertenece al agua indirecta consumida para producir los huevos incubables y 4.50 litros corresponde al agua azul utilizada en los procesos de incubación y crianza. En la Figura 24 se observa gráficamente la composición establecida.

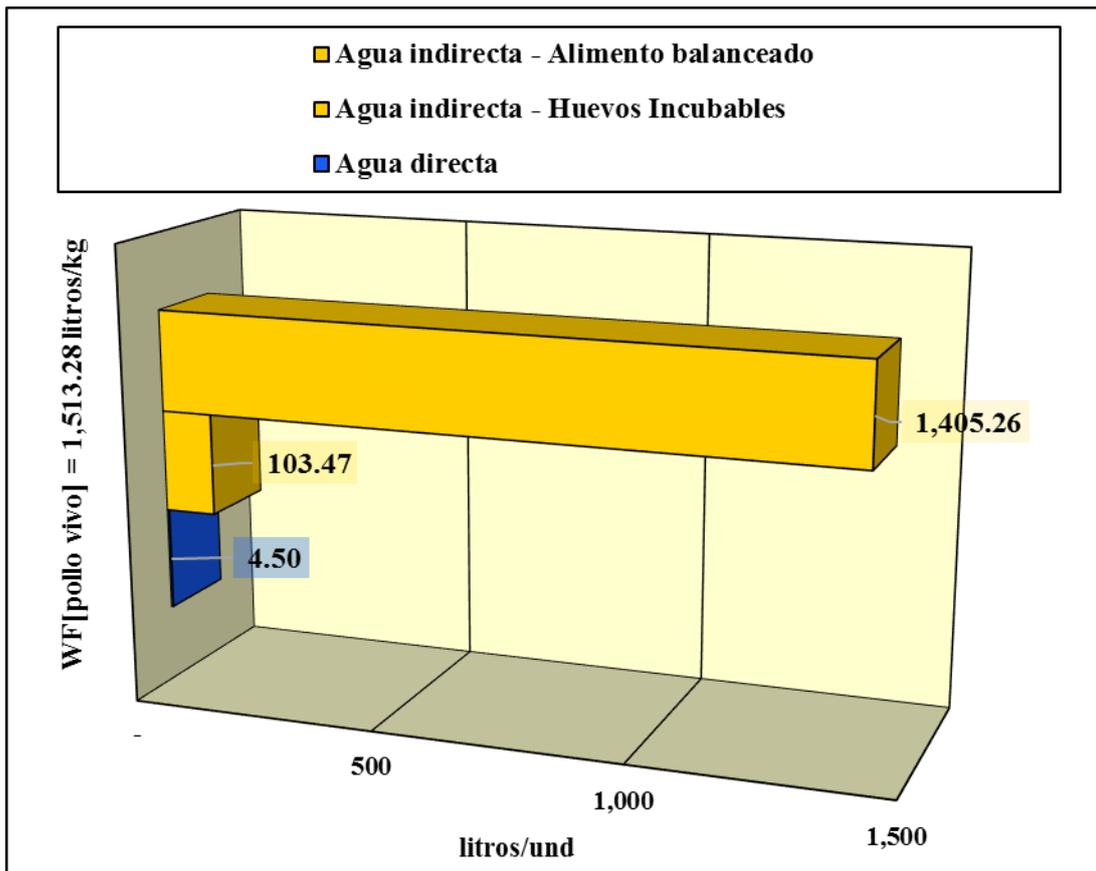


Figura 24: Composición de agua directa e indirecta en la huella hídrica del pollo vivo
 FUENTE: Elaboración propia

En el ANEXO 2 se demuestra que la huella hídrica del alimento balanceado para pollos está conformada por 7.38% de agua azul, 77.07% de agua verde y 15.55% de agua gris. Según Mekonnen and Hoekstra 2010e, la huella hídrica de los huevos incubables está conformada por 7% de agua azul, 80% de agua verde y 13% de agua gris.

Determinada la composición en agua azul, verde y gris de la huella hídrica de los insumos de alimento balanceado y huevos incubables. Se determina la composición final de agua azul, verde y gris de la huella hídrica del pollo vivo (ver Tabla 9).

Tabla 9: Huella hídrica azul, verde y gris del pollo vivo

COMPOSICIÓN	WF _{azul} [pollo vivo]	WF _{verde} [pollo vivo]	WF _{gris} [pollo vivo]
	litros/kg	litros/kg	litros/kg
Agua azul	4.5	-	-
Agua indirecta - Alimento balanceado	103.71	1,083.03	218.52
Agua indirecta - Huevo incubable	7.24	82.78	13.45
WF [pollo vivo]	115.46	1,165.85	231.97

FUENTE: Elaboración propia

La huella hídrica del pollo vivo es de 1,513.28 litros de agua por kilogramo de pollo vivo, cuya composición es 115.46 litros de agua azul, 1,165.85 litros de agua verde y 231.97 litros de agua gris. En la Figura 25 se observa gráficamente la composición indicada.

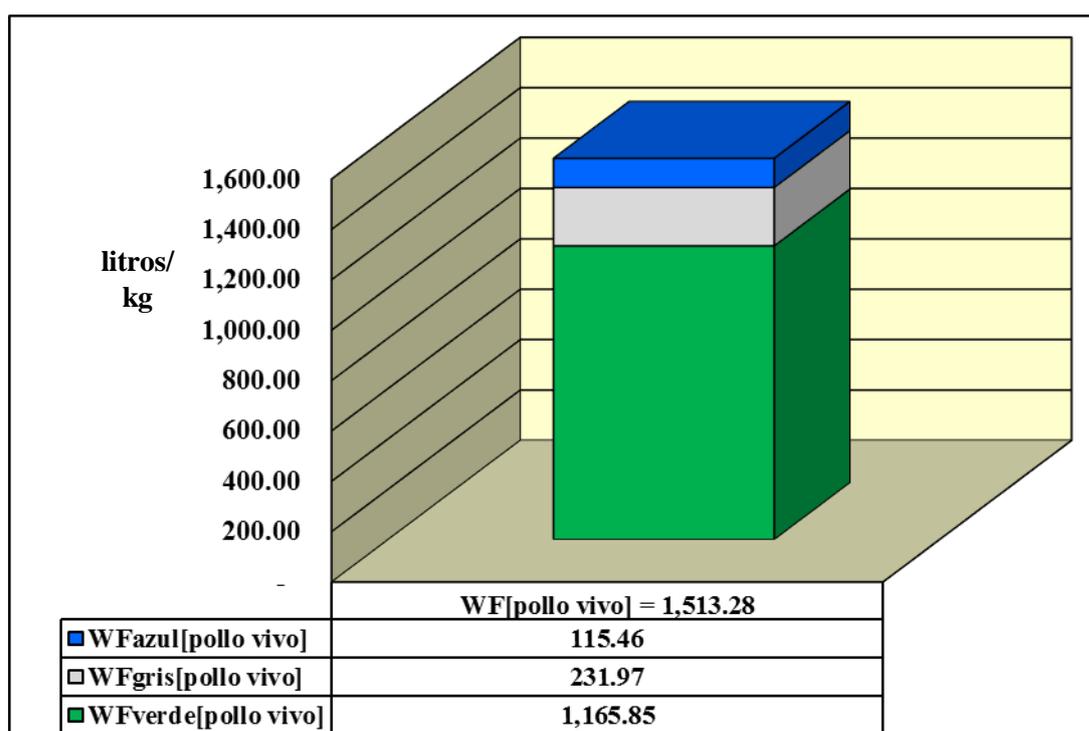


Figura 25: Huella hídrica azul, verde y gris del pollo vivo

FUENTE: Elaboración propia

4.2.7. HUELLA HÍDRICA DEL POLLO BENEFICIADO

Con la información de consumos de agua en la incubación, crianza y beneficio de los Tablas 5, 6 y 7; se empleó la ecuación (3.15) para estimar la huella hídrica del pollo beneficiado (ver Tabla 10).

Tabla 10: Huella hídrica del pollo beneficiado

W_{Inc}	W_{Cri}	W_{Ben}	$W_{Inc} + W_{Cri} + W_{Ben}$	P[pollo beneficiado]	WF[pollo beneficiado]
litros	litros	litros	litros	kg	litros/kg
99,227,181	1,345,532,001	128,436,488	1,573,195,671	763,775.50	2,059.76
6.31%	85.53%	8.16%	100.00%		

FUENTE: Elaboración propia

La huella hídrica del pollo beneficiado (WF[pollo beneficiado]) es de 2,059.76 litros de agua por kilogramo de pollo beneficiado

El 6.31% de la huella hídrica del pollo beneficiado está compuesto de agua consumida en la incubación, cuyo 99.56 % está compuesto de agua indirecta proveniente del insumo huevo incubable, el 0.44% restante está compuesto de agua directa utilizada en las operaciones de incubación.

El 85.53% de la huella hídrica del pollo beneficiado está compuesta de agua consumida en la crianza, cuyo 99.71% está compuesto de agua indirecta proveniente del alimento balanceado, el 0.29% restante está compuesto de agua directa utilizada en las operaciones de crianza.

El 8.16% restante de la huella hídrica del pollo beneficiado está compuesta de agua consumida en el beneficio, cuyo 4.99% está compuesto de agua indirecta proveniente de los insumos generadores de energía, el 7.35% es agua directa azul utilizada en el proceso de beneficio y el 87.67% corresponde al agua directa gris.

En la Figura 26 se observa gráficamente la composición de agua directa e indirecta de cada proceso (incubación, crianza y beneficio) en la producción del pollo beneficiado.

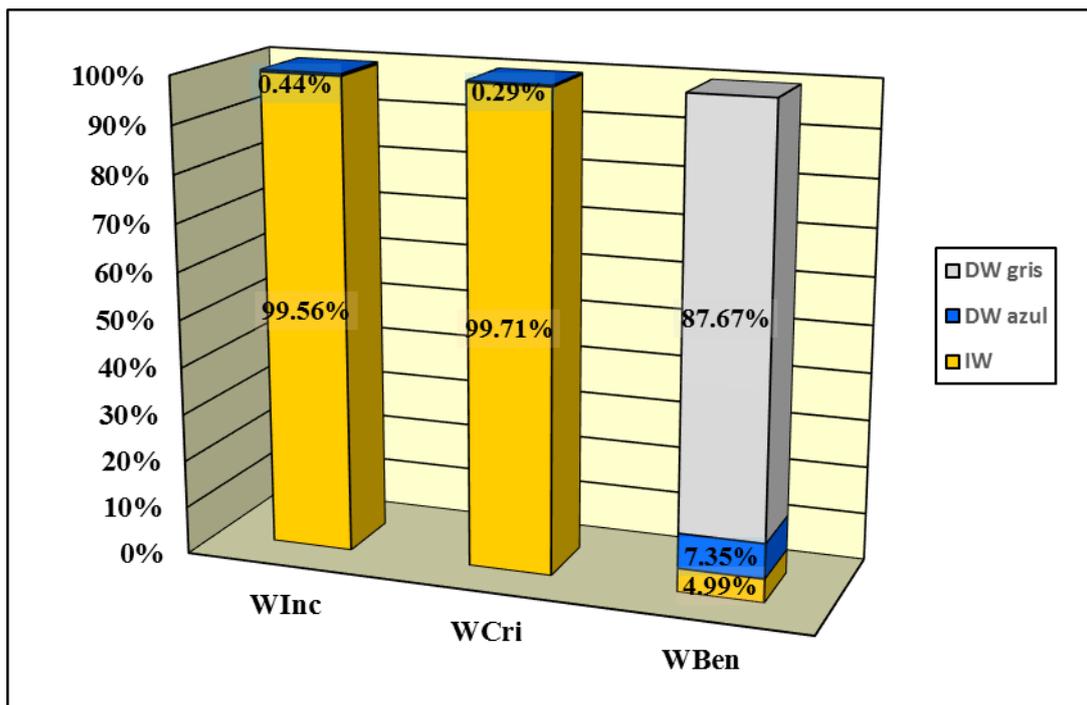


Figura 26: Composición de agua directa e indirecta en los procesos de producción del pollo beneficiado

FUENTE: Elaboración propia

Determinada la composición en porcentaje de agua directa e indirecta de cada proceso en la producción del pollo beneficiado. Se establece que la huella hídrica del pollo beneficiado está compuesta por 17.99 litros de agua azul utilizada para los procesos de incubación, crianza y beneficio; 147.43 litros pertenece al agua gris consumida para diluir la carga contaminante vertida en el beneficio; 1,756.58 litros pertenece al agua indirecta consumida para producir el alimento balanceado utilizado en la crianza; 129.34 litros pertenece al agua indirecta consumida para producir los huevos incubables y 8.39 litros pertenece al agua indirecta consumida para producir los insumos que se utilizaron para generar energía en los procesos. En la Figura 27 se observa gráficamente la composición establecida.

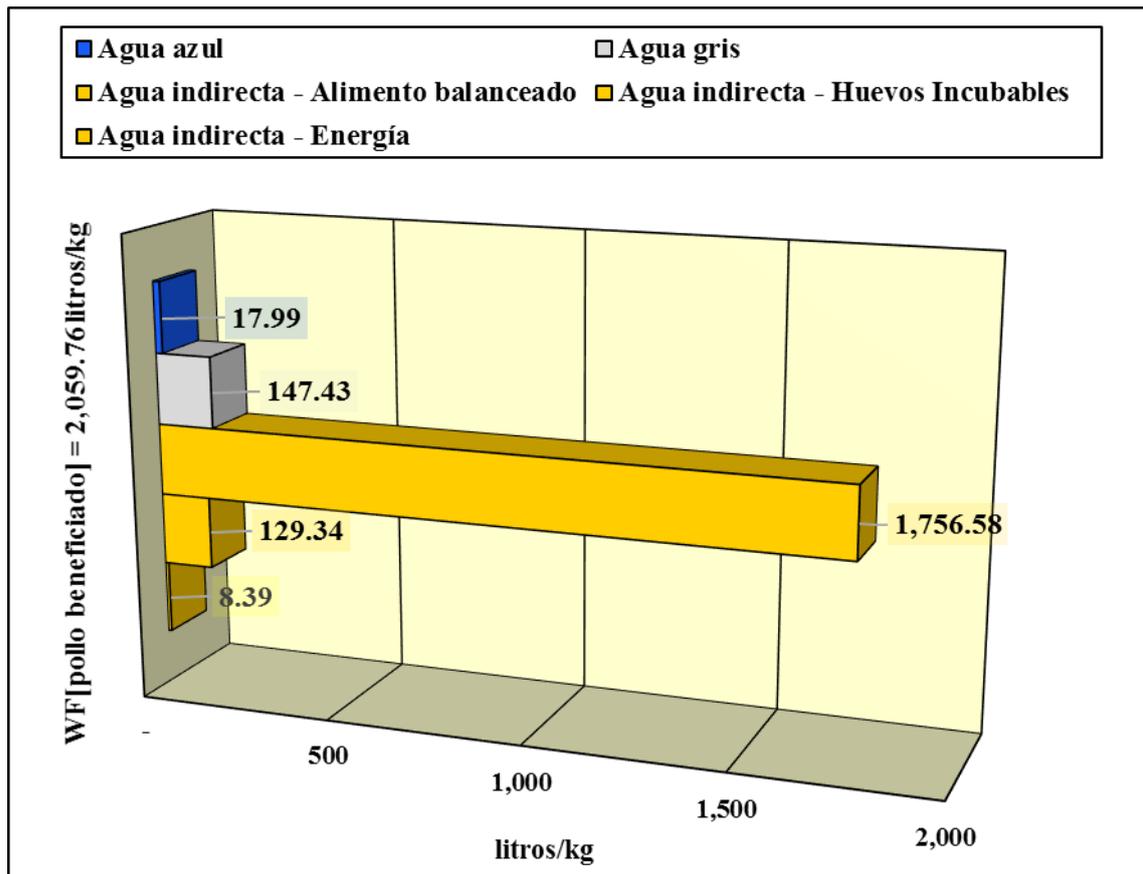


Figura 27: Composición de agua directa e indirecta en la huella hídrica del pollo beneficiado

FUENTE: Elaboración propia

En el ANEXO 2 se demuestra que la huella hídrica del alimento balanceado para pollos está conformada por 7.38% de agua azul, 77.07% de agua verde y 15.55% de agua gris. Además, según Mekonnen and Hoekstra 2010e, la huella hídrica de los huevos incubables está conformada por 7% de agua azul, 80% de agua verde y 13% de agua gris. Asimismo, la huella hídrica de la energía proviene en su totalidad de agua azul.

Determinada la composición en agua azul, verde y gris de la huella hídrica de los insumos de alimento balanceado, huevos incubables y energía. Se determina la composición final en agua azul, verde y gris de la huella hídrica del pollo beneficiado (ver Tabla 11).

Tabla 11: Huella hídrica azul, verde y gris del pollo beneficiado

COMPOSICIÓN	WF _{azul} [pollo beneficiado]	WF _{verde} [pollo beneficiado]	WF _{gris} [pollo beneficiado]
	litros/kg	litros/kg	litros/kg
Agua azul	17.99	-	-
Agua gris	-	-	147.43
Agua indirecta - Alimento balanceado	129.64	1,353.79	273.15
Agua indirecta - Huevo incubable	9.05	103.47	16.81
Agua indirecta - Energía	8.39	-	-
WF [pollo beneficiado]	165.07	1,457.27	437.39

FUENTE: Elaboración propia

La huella hídrica del pollo beneficiado es de 2,059.73 litros de agua por kilogramo de pollo beneficiado, cuya composición es de 165.07 litros es agua azul, 1,457.27 litros de agua verde y 437.39 litros de agua gris.

4.2.8. HUELLA HÍDRICA DEL POLLO BENEFICIADO EN EL PERÚ Y OTROS PAÍSES

La herramienta de huella hídrica de un producto viene siendo utilizada en muchos países para la estimación de la huella hídrica de diversos productos agrícolas. En un estudio de Gerbens-Leenes et al. 2011; se determinó la huella hídrica del pollo beneficiado en 4 países: Brasil, China, Holanda y Estados Unidos (ver Tabla 12). Estos países son grandes productores de pollos engorde.

La huella hídrica del pollo beneficiado para cada país se determinó utilizando una metodología de cálculo similar a la realizada en la presente investigación, dado que consideró un modelo intensivo de producción industrial, que implica los procesos de incubación, elaboración de alimento balanceado, crianza y beneficio.

Cabe señalar que se compara solo el resultado de huella hídrica del pollo beneficiado, dado que en el estudio de Gerbens-Leenes et al. 2011, se estima la huella hídrica para el pollo beneficiado, siendo este producto la forma de comercialización de carne de pollo en los países mencionados. En nuestro país es totalmente opuesto, dado que prima la comercialización del pollo vivo y el beneficio informal.

Tabla 12: Huella hídrica del pollo beneficiado en el Perú y otros países

	Unidad	Brasil	China	Holanda	Estados Unidos	Perú
WF _{azul} [pollo beneficiado]	litros/kg	32	201	78	187	165
WF _{gris} [pollo beneficiado]		213	584	165	303	437
WF _{verde} [pollo beneficiado]		3,723	1,940	1,548	1,731	1,457
WF[pollo beneficiado]		3,968	2,725	1,791	2,221	2,059

FUENTE: Gerbens-Leenes et al. 2008

En la Figura 28 se observa gráficamente la comparación de la huella hídrica del pollo beneficiado en los países de Brasil, China, Holanda, Estados Unidos y Perú.

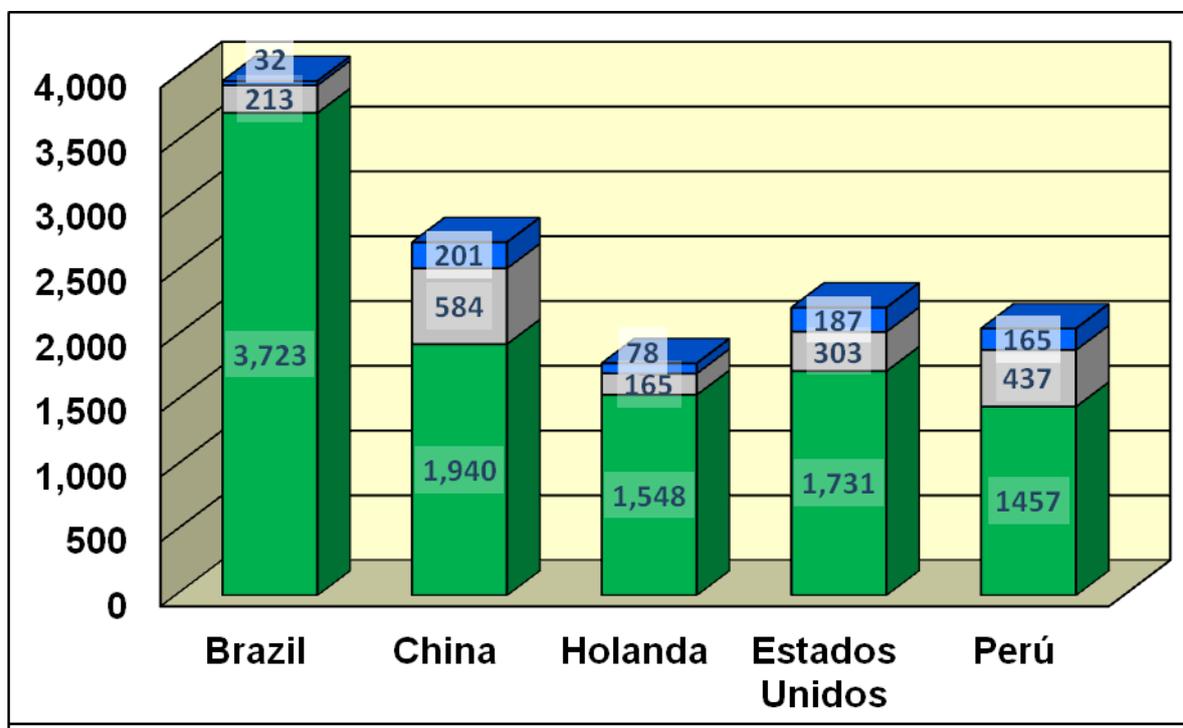


Figura 28: Huella hídrica del pollo beneficiado en el Perú y otros países

FUENTE: Gerbens-Leenes et al. 2011

El mayor valor de huella hídrica del pollo beneficiado pertenece a Brasil con 3,968 litros de agua por kilogramo de pollo beneficiado, por el contrario, Holanda tiene la huella hídrica más baja con 1,791 litros de agua por kilogramo de pollo beneficiado. El Perú posee el segundo menor valor de huella hídrica del pollo beneficiado con 2,059 litros de agua por kilogramo de pollo beneficiado. También se observa en la Figura 28 que la composición de agua verde, gris y azul de la huella hídrica del pollo beneficiado es variable en cada país.

Brasil tiene la mayor composición de agua verde en su huella hídrica del pollo beneficiado, esta característica es debido a que sus insumos agrícolas (maíz y soya) para la alimentación de pollos poseen una huella hídrica alta, y también una composición mayor de agua verde. Por el contrario, países como Holanda y Estados Unidos tienen menor composición de agua verde en su huella hídrica del pollo beneficiado, dado que sus insumos agrícolas para la alimentación de pollos poseen menor huella hídrica. Para el caso peruano también se observa una composición baja de agua verde en su huella hídrica del pollo beneficiado, dado que importa insumos agrícolas de Estados Unidos con baja huella hídrica.

La mayor composición de agua gris en la huella hídrica del pollo beneficiado pertenece a China, posiblemente esta diferencia se deba a una contaminación del cuerpo receptor de efluentes líquidos en las etapas productivas del pollo beneficiado o en el mal manejo de abonos químicos en el cultivo de sus insumos agrícolas para el alimento de pollos, por lo que se generan consumos de agua gris. Por el contrario, Holanda posee la menor composición de agua gris en su huella hídrica del pollo beneficiado, posiblemente esta situación se deba al enorme desarrollo de este país en la gestión de sus impactos ambientales. El caso peruano posee la segunda mayor composición de agua gris en su huella hídrica, dado que de manera similar al caso chino existe una contaminación al cuerpo receptor de efluentes líquidos originada en la etapa de beneficio.

Brasil posee la menor composición de agua azul en la huella hídrica del pollo beneficiado, esta situación es debida a que sus insumos agrícolas (maíz y soya) para la alimentación de pollos poseen una composición baja de agua azul, dado que se aprovecha para el riego de estos insumos el agua de lluvia. En contraparte, China y los demás países poseen la mayor composición de agua azul, esta situación se debe al mayor uso de agua superficial y subterránea para la producción de insumos agrícolas para la alimentación de pollos.

Un factor importante a considerar en los resultados de huella hídrica del pollo beneficiado es la conversión alimenticia, dado que la huella hídrica del pollo beneficiado está compuesta mayoritariamente por el agua indirecta del alimento balanceado. La conversión alimenticia disminuye progresivamente con la edad de los pollos, por lo que, si se crían pollos de mayor edad y peso, se utilizará mayor cantidad

de alimento para alcanzar el peso requerido, por consiguiente, la huella hídrica será mayor. Esta situación es la que causa que la huella hídrica del pollo beneficiado del Perú sea relativamente baja, dado que la edad de crianza de los pollos para beneficio es de 6 semanas para un peso promedio requerido de 2.3 a 2.5 kilogramos, mientras que a nivel mundial en promedio se crían en 7 semanas.

Mekonnen y Hoekstra en su publicación “The green, blue and grey water footprint of farm animal and animal products” (2010) estimó la huella hídrica promedio mundial del pollo beneficiado en 2,872 litros de agua por kilogramo de pollo beneficiado para un sistema productivo industrial de crianza de pollos de engorde con una conversión alimenticia de 2.8 kg de alimento por 1 kg de pollo vivo. En nuestra investigación obtuvimos el valor de huella hídrica del pollo beneficiado de 2,059 litros de agua por kilogramo de pollo beneficiado, también en un sistema productivo industrial de crianza, sin embargo, la conversión alimenticia de nuestra zona de estudio fue de 1.75 kg de alimento por 1 kg de pollo vivo.

4.3. PROPUESTAS DE REDUCCIÓN DE HUELLA HÍDRICA

Las propuestas de reducción de la huella hídrica del pollo de engorde, tanto en el producto pollo vivo y pollo beneficiado están orientadas a la mejora del uso de recursos, reducción de agua gris y reúso de aguas residuales tratadas del proceso de beneficio de pollos.

4.3.1. MEJORA EN EL USO DE RECURSOS

a) Optimizar el uso de insumos

Las huellas hídricas del pollo vivo y beneficiado provienen principalmente de los insumos de huevos incubables, utilizados en el proceso de incubación, e insumos agrícolas para la elaboración de alimento balanceado, siendo el maíz, la torta de soya y la harina integral de soya los principalmente utilizados (ver Figura 27 y Tabla 11). Por lo tanto, si optimizamos el uso de estos insumos en los procesos correspondientes, estaremos reduciendo indirectamente la huella hídrica de los productos de pollo de engorde. Para lograr esta eficiencia se propone mejorar el control de uso de estos insumos, para ello se debe trabajar en lo siguiente:

- Llevar registros de seguimiento y medición de generación de mermas en la elaboración de alimento balanceado, si existen desviaciones fuera del promedio proponer planes de acción para identificar y reducir la generación mermas.

- Llevar registros de seguimiento y medición del uso de alimento balanceado en la crianza, en dichos registros se debe analizar cualquier desviación en el estándar promedio de consumo de alimento por pollo.
- Llevar registros de seguimiento y medición del uso de huevos incubables en la incubación, en dichos registros se debe analizar las causas de pérdida de huevos no conformes y la cantidad de merma por lote de producción.
- Capacitar al personal de planta y granja sobre el uso eficiente de insumos.

La reducción en la huella hídrica por aplicar esta propuesta no es cuantificable aun, dado que se tiene que recopilar información histórica de uso de insumos, posteriormente se analizaría la reducción y se estimaría la reducción en la huella hídrica de los productos pollo vivo y beneficiado.

b) Incrementar la eficiencia en el uso de agua azul

En los procesos de producción de pollos de engorde se observan oportunidades de optimización del uso de agua azul, dado que una actividad constante de los procesos de producción es el lavado y desinfección, actividad fundamental para garantizar buenas condiciones sanitarias. Por lo que, para lograr este objetivo de optimización se debe trabajar en lo siguiente:

- Desarrollar actividades de concientización al personal e involucrarlos en el reporte de desperdicios.
- Utilizar registros de seguimiento y medición al uso de agua en planta o granja, estos registros permitirán medir el consumo y diseñar planes de acción ante desvíos excesivos de consumo de agua.
- Establecer estándares de presión de equipos de duchado de personal, lavado de materiales, ambientes, equipos, vehículos y otros; se requiere trabajar a presiones adecuadas y siguiendo instructivos de trabajo para usar eficientemente el agua y minimizar desperdicios. Para ello se deben implementar reductores de presión en puntos estratégicos de consumo de agua.

Aplicando estas medidas se espera reducir el uso de agua hasta en 25%, dado que, en una prueba piloto de estandarización de presiones de griferías en una planta de la empresa se logró reducir en 30 % el consumo mensual de agua.

4.3.2. REDUCCIÓN DE AGUA GRIS

Otra medida que permite reducir la huella hídrica es disminuir el agua gris generada por el proceso de beneficio de pollos, para ellos se propone lo siguiente:

- Incrementar el circuito de agua o espacio del sistema de desinfección del agua residual tratada.
- Adicionar al sistema de desinfección existente, un sistema de desinfección del tipo nanofiltración y ósmosis inversa.

El objetivo de esta propuesta es lograr una desinfección 100% eficaz, de manera que nos permita obtener un agua tratada libre de microorganismos, apta para el reúso en diversas actividades.

Aplicando esta propuesta se reducirá la huella hídrica del pollo beneficiado en 147.43 litros/kg, la reducción está compuesta totalmente por agua gris.

4.3.3. REÚSO DE AGUAS RESIDUALES TRATADAS

Existe la oportunidad de reusar el agua residual tratada de las plantas de beneficio de pollos en distintos procesos del negocio de pollos de engorde, de esta manera se formarían relaciones de abastecimiento de agua, que serán de la siguiente forma:

- Planta de beneficio de pollos – Planta de incubación Chancay
- Planta de beneficio de pollos – Granjas de pollos de la costa norte
- Planta de beneficio de pollos – Planta de alimentos balanceados Chancay.
- Planta de beneficio de pollos – Planta de beneficio de pollos Huaral

En la Tabla 13 se indica el caudal de vertimiento de agua residual tratada de la planta de beneficio de pollos, la cual tiene una operatividad de 12 horas diarias, el agua residual tratada es completamente vertida al río Huaral sin ningún reaprovechamiento.

Tabla 13: Caudal de vertimiento de agua residual

Valor	Unidad
0.07	m ³ /s
3,024	m³/día

FUENTE: SGS PERÚ, 2016

Las unidades de incubación, granjas de crianza, planta de elaboración de alimento balanceado y beneficio de pollos requieren de agua de muy buena calidad microbiológica, por lo que será vital para desarrollar esta propuesta, una mejora en la desinfección del sistema de tratamiento de agua residuales de la planta de beneficio de pollos, esta mejora está contemplada en la segunda propuesta de reducción de agua gris del proceso de beneficio. Los volúmenes de requerimiento diario y total de agua para las unidades mencionadas se indican en la Tabla 14.

Tabla 14: Requerimiento diario de agua para procesos

Unidad operativa	Requerimiento diario		Número de unidades	Requerimiento diario total	
Planta de incubación	103.31	m ³ /día	1	103.31	m ³ /día
Granjas de pollos	55.15		30	1,654.45	
Planta de alimentos balanceados	143.73		1	143.73	
SUBTOTAL				1,901.41	
Planta de beneficio de pollos	3,067.57	m ³ /día	1	3,067.57	
TOTAL				4,969.06	

FUENTE: Registros de consumo de agua

De acuerdo a la Tabla 14, se observa que el requerimiento diario de agua para abastecer a las unidades de incubación, elaboración de alimento y granjas de crianza de pollos (1,901.49 m³/día) es cubierta por el caudal de vertimiento de agua residual tratada de 3,024 m³/día; asimismo hay agua adicional que puede ser comercializada o donada para otras actividades. Sin embargo, la alternativa más favorable es el reúso parcial en la misma planta de beneficio, dado que la planta se abastece diariamente de agua de pozo con un caudal diario de 3,067.57 m³/día. Se puede abastecer con 1,000 m³/día, representando el 32% del requerimiento total.

Cabe mencionar que actualmente el agua es más costosa para las granjas de pollos, dado que se compra y transporta de pozos subterráneos. De similar manera, para las plantas de incubación y elaboración de alimentos también es costosa, dado que se abastecen de agua de red pública (ver Tabla 15). Por estos motivos se prioriza el abastecimiento de agua residual tratada a granjas de pollos, planta de alimentos balanceados e incubación.

Tabla 15: Costos de agua para procesos

Unidad operativa	Requerimiento diario total (m3/día)	Costo agua (S./m3)	Costo diario agua (S./día)	Costo anual agua (S./día)
Planta de incubación*	103	S/. 1.20	S/. 124	S/. 37,192
30 granjas de pollos**	1,654	S/. 1.50	S/. 2,482	S/. 744,503
Planta de alimento balanceado*	144	S/. 1.20	S/. 172	S/. 51,743
Total (S./día)			S/. 2,778	S/. 833,437

*Unidades abastecidas de red pública

**Unidades abastecidas de pozos subterráneos

FUENTE: Registros de costos de agua

Para implementar la propuesta de reúso de aguas residuales se requiere invertir en lo siguiente:

- Sistema de desinfección de nanofiltración con ósmosis inversa (\$ 80,000)
- 3 cisternas de almacenamiento de agua (\$ 30,000)
- 3 bombas hidrostáticas (\$15,000)
- Infraestructura de construcción (\$10,000)

En total se requiere invertir aproximadamente 135,000 dólares. Por otra parte, el costo anual neto de agua para los procesos, en los que se propone implementar la propuesta de reúso, es de 260.449 dólares. En la Tabla 16 se calcula el retorno de la inversión de la propuesta, el cual es 7 meses en promedio (0.52 años)

Tabla 16: Retorno de inversión de propuesta de reúso de aguas residuales

Costo de propuesta (\$)	Costo anual neto de agua (\$./año)	Retorno de inversión (años)
135,000	260,449	0.52

FUENTE: Registros de costos de agua

El agua de reúso no se contabiliza en la estimación de huella hídrica, por lo que, implementando la propuesta de reúso de aguas residuales tratadas resulta que el agua directa utilizada en los procesos es cero, de esta manera se logra disminuir la huella hídrica del producto pollo vivo y beneficiado.

En la Figura 29 se muestra la comparación de la huella hídrica del pollo beneficiado, con y sin propuestas de reducción de huella hídrica.

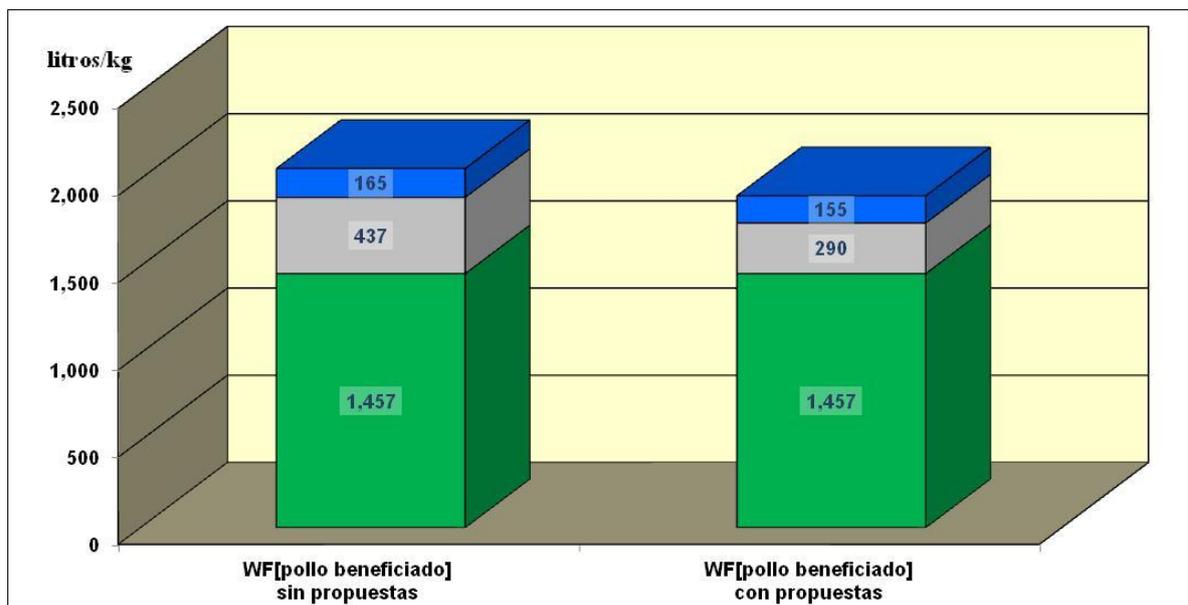


Figura 29: Huella hídrica con propuestas de reducción

FUENTE: Elaboración propia

Se observa una reducción en la huella hídrica del pollo beneficiado de 2,059 a 1,902 m³/día. El volumen de reducción proviene mayoritariamente de agua gris con 147 m³/día. Se observa una menor reducción en el volumen de agua azul con 10 m³/día.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones se determinan según los objetivos específicos:

Objetivo Específico 1: Identificar los procesos en la producción de pollos de engorde

Los procesos comprendidos en la producción de pollos de engorde son la incubación de pollos bebé, la elaboración de alimento balanceado, la crianza en granja y el beneficio. El agua y el alimento balanceado son insumos fundamentales para la crianza de pollos de engorde, estos a su vez representan los insumos de mayor consumo.

El alimento balanceado, utilizado para la crianza de pollos, concentra gran cantidad de nutrientes de insumos agrícolas de maíz, torta de soya, harina integral de soya, entre otros. Los cuales han utilizado agua durante su producción.

Objetivo Específico 2: Estimar la huella hídrica de los productos del pollo de engorde

La huella hídrica del pollo vivo es de 1,513.28 litros por kilogramo de pollo vivo, cuyo 95% está compuesto por agua indirecta importada proveniente del cultivo de insumos agrícolas en Estados Unidos para la elaboración de alimento balanceado.

La huella hídrica del pollo beneficiado es de 2,059 litros por kilogramos de pollo beneficiado, cuyo 90% está compuesto por agua indirecta importada proveniente del cultivo de insumos agrícolas en Estados Unidos para el alimento balanceado.

La huella hídrica del pollo beneficiado producido por la empresa San Fernando en la Costa de Lima (2,059 litros/kg) es una de las más bajas del promedio mundial (2,676 litros/kg). Este menor valor se debe a la buena conversión alimenticia de nuestra zona de estudio, la cual fue de 1.75, menor que la del promedio mundial de 2.8.

Objetivo Específico 3: Proponer mejoras para reducir la huella hídrica de la producción del pollo de engorde

La huella hídrica del pollo de engorde, de nuestra zona de estudio, se reduce en 157 litros/kilogramo, aplicando propuestas de optimización del uso de insumos y agua, reducción de agua gris del proceso de beneficio y reutilización de aguas residuales tratadas en los procesos de producción.

El reúso de aguas residuales tratadas es una primera medida para desarrollar un modelo productivo de ecología industrial, dado que las empresas avícolas generan cuantiosas cantidades de efluentes líquidos que pueden ser tratados y reusados en otros procesos de la misma empresa o por terceros interesados. A su vez, los desechos de sus etapas productivas, en su mayoría orgánicos, pueden ser tratados y reutilizados para la producción de insumos agrícolas para la alimentación de pollos.

VI. RECOMENDACIONES

- Estimar y comparar la huella hídrica del pollo de engorde en el Perú en sistemas productivos más sofisticados del tipo automático-climatizado.
- Realizar la estimación de huella hídrica del pollo de engorde en el Perú en un periodo estacional de verano, dado que en condiciones de mayor temperatura el consumo de agua es mayor, el manejo en crianza es variable y existe mayor variabilidad en los resultados productivos.
- Diseñar un sistema productivo de pollos de engorde con orientación a la ecología industrial, dado que en la investigación se identificaron procesos cuyas salidas pueden ser transformadas en entradas de otros procesos.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aldaya, M; Ertug Ercin, A; Jefferies, D; Hodges, J; Hoekstra, A; King, V; Milà i Canals, L; Muñoz, I. 2012. Water Footprint and Life Cycle Assessment as approaches to assess potential impacts of products on water consumption. Key learning points from pilot studies on tea and margarine. *Journal of Cleaner Production* 33: 155-166.
2. Aldaya, M; Ertug Ercin, A; Hoekstra, A. 2012. The water footprint of soy milk and soy burger and equivalent animal products. *Ecological Indicators* 18: 392-402.
3. APA (Asociación Peruana de Avicultura), 2016. Indicadores del sector avícola peruano (en línea). Lima, PE. Consultado 22 dic. 2016. Disponible en: <http://www.apa.org.pe/html/nuestros-servicios-estadistica.php>
4. Avigen, 2014. Manual de manejo, pollo de engorde Ross (en línea). Alabama, US. Consultado 21 abr. 2016. Disponible en: http://es.aviagen.com/assets/Tech_Center/BB_Foreign_Language_Docs/Spanish_TechDocs/RossBroilerHandbook2014-ES.pdf
5. Bertrán, C. 2010. Agua, Historia y Mitología. *Elementalwatson “la” revista* 1(1): 6-8.
6. Beltrán, J; Carmona, M; Carrasco, R; Rivas, M; Tejedor, F. 2009. Guía para una gestión basada en procesos. 2 ed. España. IAT. 99p.
7. Beltrán M. y Velásquez E. 2015. La Ecología Política del Agua Virtual y Huella Hídrica. Reflexiones sobre la necesidad de un Análisis Crítico de los Indicadores de Flujos Virtuales de Agua en la Economía. *Economía Crítica* 20:44-56
8. Broussain, J. 2011. Análisis y aplicación de una metodología para el cálculo de la huella hídrica a nivel predial de la producción lechera en Chile. Memoria para optar al título de Ingeniera Civil. Santiago de Chile. 80p.
9. Cajas, D. 2015. Inclusión de tres dosis de harina de gandul (*Cajanus cajan* (L). Millsp) en el engorde de pollos broiler en el recinto El Vergel, Cantón Valencia. Tesis para la obtención del título de Ingeniero Agropecuario. Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Los Ríos, EC. 74p.

10. Caballero, A. 2011. Metodología integral innovadora para planes y tesis. La Molina. Instituto Metodológico Alen Caro E.I.R.L. 623p.
11. Cobb-Vantress, 2013. Guía de manejo del pollo de engorde (en línea). Arkansas, US. Consultado 21 abr. 2016. Disponible en:
http://cobb-vantress.com/languages/guidefiles/b5043b0f-792a-448e-b4a1-4aff9a30e9eb_es.pdf
12. Duke Energy Perú, 2014. Agua, comunidad y energía: La experiencia Duke, huella hídrica 2014. Duke Energy Internacional (DEI) (en línea). Consultado 28 nov. 2016. Disponible en:
<http://www.peru2021.org/repositorioaps/0/0/par/duke/huella%20h%C3%ADdrlica%20-%20duke.pdf>
13. Evans, T. 2016. Tendencias avícolas mundiales 2016: Crece el consumo de pollo en américa. (en línea). Sheffield, GB. Consultado 22 nov. 2016. Disponible en:
<http://www.elsitioavicola.com/articles/2871/tendencias-avacolas-mundiales-2016-crece-el-consumo-de-pollo-en-amarica/>
14. Ferrer, M. 2014. HUELLA HÍRICA: La nueva norma internacional ISO 14046:2014 y su implementación. CONAMA2014 homepage (en línea). Consultado 28 feb. 2016. Disponible en:
<http://www.conama2014.conama.org>
15. Gerbens-Leenes, P; Hoekstra, A; Van Der Meer, H. 2008. Water footprint of bio-energy and other primary energy carriers. Value of Water Research Report Series 29:1-44.
16. Gerbens-Leens, P; Mekonnen M. and Hoekstra A. 2011. A comparative study on the water footprint of poultry, pork, and beef in different countries and production systems, Value of Water Research Report Series No. 55, UNESCO-IHE, Delft, NL. 42p.
17. Gonzales C. y Porlles D. 2013. Estimación de la huella hídrica en la Planta Piloto de Leche La Molina. Trabajo de titulación de Ingeniería Ambiental. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, PE. 159p.
18. Hoekstra, A. 2008. Water Neutral: Reducing and offsetting the impacts of water footprints. Value of Water Research Report Series 28:1-42.

19. Hoekstra, A; Chapagain, A; Aldaya, M; Mekonnen, M. 2009. Water Footprint Manual: State of the Art 2009. Enschede, NL. 127p.
20. Hoekstra, A; Chapagain, A; Aldaya, M; Mekonnen, M. 2011. The Water Footprint Assessment Manual: Setting the Global Standard. London. Tj International. 199p.
21. Madrid C. y Velázquez E. 2008. El metabolismo hídrico y los flujos de agua virtual. Una aplicación al sector hortofrutícola de Andalucía (España). Revista de la Red Iberoamericana de Economía Ecológica 8:29-47
22. Mekonnen M. and Hoekstra A. 2010a. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products, Value of Water Research Report Series No. 48, UNESCO-IHE, Delft, NL. 50p.
23. Mekonnen M. and Hoekstra A. 2010b. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products – Volume 1: Main report. Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, NL. 42p.
24. Mekonnen M. and Hoekstra A. 2010c. The green, blue and grey water footprint of crops and derived crop products – Volume 2: Appendices. Value of Water Research Report Series No. 47, UNESCO-IHE, Delft, NL. 1196p.
25. Mekonnen M. and Hoekstra A. 2010d. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products – Volume 1: Main report. Value of Water Research Report Series No. 48, UNESCO-IHE, Delft, NL. 50p.
26. Mekonnen M. and Hoekstra A. 2010e. The green, blue and grey water footprint of farm animals and animal products – Volume 2: Appendices. Value of Water Research Report Series No. 48, UNESCO-IHE, Delft, NL. 122p.
27. Mekonnen M. and Hoekstra A. 2012. A Global Assessment of the Water Footprint of Farm Animal Products. Ecosystems 15. 401-415.
28. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE); ANA (Autoridad Nacional del agua, PE); COSUDE (Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación, CH); WWF (Fondo Mundial para la Naturaleza, CH). 2015. Huella hídrica del Perú. Sector agropecuario. Perú. Imprenta Novaprint. 32p.
29. MINAGRI (Ministerio de Agricultura y Riego, PE). 2016. Boletín Estadístico de Producción Agrícola, Pecuaria y Avícola. Sistema Integrado de Estadística Agraria dic 2016. 94p.

30. Ministerio de Hacienda y Finanzas Públicas de la Nación, AR. 2016. INFORMES DE CADENAS DE VALOR: Cárnica - Aviar. Secretaria de Política Económica y Planificación del Desarrollo 1(5): 8-9.
31. Reynaga, N. 2014. Crianza, producción y comercialización de Pollos de Engorde. 1 ed. Lima, PE. Macro EIRL. 198p.
32. SGS PERÚ (Société Générale de Surveillance Perú, PE). 2016. Informe de Monitoreo Ambiental – Tercer Trimestre. Planta de Beneficio de Aves Huaral -San Fernando S.A. 110p.
33. WWF (World Wildlife Foundation, CH); ZSL (Zoological Society of London, UK); Global Footprint Network (USA); WFN (Water Footprint Network, NL). 2014. Living Planet Report 2014: Species and spaces, people and places. 175p.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Ratio de agua virtual en la incubación

En el Tabla 8.1 se presenta información productiva de la planta de incubación de pollos bebé, se compiló información productiva desde el mes de junio hasta noviembre del 2016. Los huevos incubables son la materia prima del proceso de incubación, los huevos mermas son aquellos huevos que no cumplen los parámetros de calidad para incubación o no eclosionaron en el proceso, los pollos bebé de descarte son aquellos que no cumplen los parámetros de calidad para la crianza, y finalmente los pollos bebé son el producto final de la incubación, los cuales serán distribuidos a granjas para su crianza.

Tabla 8.1: Información productiva de incubación

Meses	Huevos incubables	Huevos merma	Huevos incubados	Pollos bebé descarte	P [Pollos bebé]
	und	und	und	und	und
JUN	3,088,584	4,226	3,084,358	375,905	2,708,453
JUL	2,854,872	2,596	2,852,276	348,996	2,503,280
AGO	1,835,784	3,457	1,832,327	248,426	1,583,901
SET	1,416,960	3,276	1,413,684	217,843	1,195,841
OCT	1,976,400	4,706	1,971,694	267,783	1,703,911
NOV	2,921,832	3,261	2,918,571	384,045	2,534,526
TOTAL	14,094,432	21,522	14,072,910	1,842,998	12,229,912

FUENTE: Elaboración propia

Se estimó el ratio de agua virtual en la incubación a partir de la ecuación (3.4), en la cual se emplean los cálculos de consumo directo e indirecto de agua (DW_{inc} y IW_{inc}).

Consumos directos de agua en incubación (DW_{inc})

En el proceso de incubación de pollos bebé solo se tienen consumos directos de agua azul, el cual proviene de pozos subterráneos de agua. Los consumos se presentan en el Tabla 8.2.

Tabla 8.2: Consumos directos de agua en incubación

Meses	DW _{azul-Inc}	DW _{verde-Inc}	DW _{gris-Inc}	DW _{Inc}
	litros	litros	litros	litros
JUN	2,013,510	0.00	0.00	2,013,510
JUL	2,106,480	0.00	0.00	2,106,480
AGO	2,149,990	0.00	0.00	2,149,990
SET	1,938,790	0.00	0.00	1,938,790
OCT	1,938,350	0.00	0.00	1,938,350
NOV	2,249,770	0.00	0.00	2,249,770
				12,396,890

FUENTE: Elaboración propia

Consumos indirectos de agua en incubación (IW_{Inc})

En el proceso de incubación de pollos bebé solo se tienen consumos indirectos de agua a partir de los siguientes insumos: huevos incubable (HI), GLP, diésel y energía eléctrica (EE). En el Tabla 8.3 se muestran los volúmenes de consumo de insumos en los meses de estudio, asimismo en la Tabla 8.4 se muestran las huellas hídricas de cada insumo consultadas en fuentes bibliográficas.

Tabla 8.3: Volúmenes de consumo de insumos de incubación

Meses	P[HI]	P[GLP]	P[Diésel]	P[EE]
	und	kg	kg	Kwh
JUN	3,088,584	6,519.55	3,754.37	55,098.50
JUL	2,854,872			75,786.00
AGO	1,835,784			72,038.00
SET	1,416,960			71,520.00
OCT	1,976,400			74,943.00
NOV	2,921,832			56,525.01

FUENTE: Elaboración propia

Dónde: 1 kg GLP = 0.041950 GJ, 1 kg Diésel = 0.042695 GJ

Tabla 8.4: Huella hídrica de insumos de incubación

Insumo	Unidad	Huella hídrica	Fuente bibliográfica
WF[HI]	litros/und	196	Mekonnen M. and Hoekstra A. 2010e
WF[GLP]	litros/GJ	110	Gerbens-Leenes et al. 2008
WF[Diésel]	litros/GJ	50	Gerbens-Leenes et al. 2008
WF[EE]	litros/Kwh	80	Gerbens-Leenes et al. 2008

FUENTE: Elaboración propia

Luego de determinar los volúmenes de consumo y huella hídrica de insumos de incubación, se emplean las ecuaciones (3.3) y (3.4) para obtener el consumo indirecto de agua en incubación, los resultados se indican en la Tabla 8.5.

Tabla 8.5: Consumos indirectos de agua en incubación

Meses	IW[HI]	IW[GLP]	IW[Diésel]	IW[EE]	IW _{Inc}
	litros	litros	litros	litros	litros
JUN	605,362,464	30,084.48	8,014.64	4,407,880	2,795,019,612
JUL	559,554,912			6,062,880	
AGO	359,813,664			5,763,040	
SET	277,724,160			5,721,600	
OCT	387,374,400			5,995,440	
NOV	572,679,072			4,522,001	

FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, empleamos la ecuación (3.1) para calcular el ratio de agua virtual en la incubación (ver Tabla 8.6).

Tabla 8.6: Ratio de agua virtual en la incubación

DW _{Inc}	IW _{Inc}	DW _{Inc} +IW _{Inc}	P[pollo bebé]	RW _{Inc}
litros	litros	litros	und	litros/und
12,396,890	2,795,019,612	2,807,416,502	12,229,912	229.55
0.44%	99.56%	100.00%		

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 2: Huella hídrica del alimento balanceado

El alimento balanceado (AB) es un insumo trascendental en la crianza de pollos de engorde, para estimar la huella hídrica de este insumo se utilizó la ecuación (3.7), sin embargo, para emplear esta ecuación se necesita conocer los consumos directo e indirecto de agua en la elaboración de alimento balanceado ($DW[AB]$ y $IW[AB]$). Estas variables se determinan empleando las ecuaciones (3.8) y (3.9), respectivamente.

Los resultados de consumo de agua directa se muestran en el Tabla 8.7.

Tabla 8.7: Consumos directos de agua en la producción de alimento balanceado

Consumo por tipo de alimento balanceado (AB)	$DW_{\text{azul}}[AB]$	$DW_{\text{verde}}[AB]$	$DW_{\text{gris}}[AB]$	$DW_{\text{a,v,g}}[AB]$
	litros/ton	litros/ton	litros/ton	litros/ton
Pre-inicio	90.00	0.00	0.00	90.00
Inicio	90.00	0.00	0.00	90.00
Acabado	90.00	0.00	0.00	90.00
Terminador	90.00	0.00	0.00	90.00
Finalizador	90.00	0.00	0.00	90.00

FUENTE: Elaboración propia

Para el cálculo de consumo indirecto de agua en la producción de alimento se consideró los siguientes insumos: maíz, torta de soya (T. Soya), harina integral de soya (H.I. Soya), GLP, diésel y energía eléctrica (EE); la composición de insumos agrícolas en el alimento balanceado varía en función del tipo de alimento a producir. La Tabla 8.8 muestra los consumos de insumos para producir cada tipo de alimento balanceado por tonelada.

Tabla 8.8: Consumo de insumos por tipo de alimento balanceado

Insumo	Unidad	Tipo de alimento				
		Pre-inicio	Inicio	Acabado	Terminador	Finalizador
P[Maíz]	ton/ton	0.57	0.65	0.68	0.70	0.72
P[T. Soya]	ton/ton	0.26	0.23	0.24	0.24	0.18
P[H.I. Soya]	ton/ton	0.17	0.12	0.08	0.07	0.10
P[GLP]	m ³ /ton	4.61	4.61	4.61	4.61	4.61
P[Diésel]	gal/ton	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
P[EE]	Kwh/ton	30	30	30	30	30

FUENTE: Elaboración propia

Dónde: 1 m³ GLP = 21.3945 GJ, 1 gal Diésel = 0.1406 GJ

Las huellas hídricas de los insumos considerados se indican en el Tabla 8.9.

Tabla 8.9: Huella hídrica de los insumos de producción de alimento balanceado

Insumo	Unidad	Huella hídrica	Fuente bibliográfica
WF[Maíz]	litros/ton	761,000	Mekonnen and Hoekstra 2010c
WF[T. Soya]	litros/ton	444,000	Aldaya M. et al. 2012
WF[H.I. Soya]	litros/ton	1,956,000	Mekonnen and Hoekstra 2010c
WF[GLP]	litros/GJ	110	Gerbens-Leenes et al. 2008
WF[Diésel]	litros/GJ	50	Gerbens-Leenes et al. 2008
WF[EE]	litros/Kwh	0.16	Gerbens-Leenes et al. 2008

FUENTE: Elaboración propia

Luego de determinar los consumos de insumos por tonelada de alimento producido y sus huellas hídricas, se empleó la ecuación (3.9) de agua indirecta de los insumos para la producción de alimento balanceado. Los resultados se muestran en el Tabla 8.10.

Tabla 8.10: Consumos indirectos de agua en la producción de alimento balanceado

Insumo	Tipo de alimento - IW[AB]				
	Pre-inicio	Inicio	Acabado	Terminador	Finalizador
	litros/ton	litros/ton	litros/ton	litros/ton	litros/ton
IW[Maíz]	435,824.70	493,508.50	515,197.00	536,200.60	548,300.50
IW[T. Soya]	116,638.80	102,608.40	108,558.00	107,314.80	81,429.60
IW[H.I. Soya]	323,913.60	235,502.40	153,546.00	131,638.80	204,010.80
IW[GLP]	10,849.15	10,849.15	10,849.15	10,849.15	10,849.15
IW[Diésel]	0.28	0.28	0.28	0.28	0.28
IW[EE]	2,400	2,400	2,400	2,400	2,400
	889,626.53	844,868.73	790,550.43	788,403.63	846,990.33

FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, luego de determinar los consumos directo e indirecto de agua en la producción de alimento balanceado (**DW[AB]** y **IW[AB]**), se determinó la huella hídrica del alimento balanceado empleando la ecuación (3.7). En la Tabla 8.11 se muestran los resultados.

Tabla 8.11: Huella hídrica del alimento balanceado

Tipo de alimento	DW[AB]	IW[AB]	WF[AB]
	litros/ton	litros/ton	litros/ton
Pre-inicio	90	889,626.53	889,716.53
Inicio	90	844,868.73	844,958.73
Acabado	90	790,550.43	790,640.43
Terminador	90	788,403.63	788,493.63
Finalizador	90	846,990.33	847,080.33
	0.01%	99.99%	

FUENTE: Elaboración propia

Como se puede observar el mayor aporte en la huella hídrica del alimento balanceado corresponde al agua indirecta (99.99%), el cual proviene del consumo de agua en la producción de los insumos agrícolas para la elaboración del alimento balanceado. Estos insumos agrícolas corresponden al maíz, torta de soya y harina integral de soya; los cuales vienen siendo importados de Estados Unidos por su calidad y bajo costo. Estos insumos agrícolas tienen una huella hídrica según las condiciones ambientales y el manejo productivo del lugar de procedencia. En el Tabla 8.12 se indica la composición de la huella hídrica de los insumos agrícolas del alimento balanceado procedente de Estados Unidos.

Tabla 8.12: Composición de huella hídrica de los insumos agrícolas del alimento balanceado

Huella hídrica	Unidad	Insumos agrícolas		
		Maíz	Torta de soya	Harina de soya
WF _{azul}	m ³ /ton	63	25	109
		8.28%	5.63%	5.57%
WF _{verde}		522	416	1836
		68.59%	93.69%	93.87%
WF _{gris}		176	3	11
		23.13%	0.68%	0.56%
WF		761	444	1956
		100%	100%	100%

FUENTE: Aldaya M. et al. 2012 y Mekonnen and Hoekstra 2010c

Con la información de composición de huellas hídricas de los insumos agrícolas del alimento balanceado (Tabla 8.12) y el consumo indirecto de insumos agrícolas requerido por cada tipo de alimento (Tabla 8.10). Se determinó la huella hídrica azul, verde y gris del alimento balanceado. La Tabla 8.13 muestra los resultados.

Tabla 8.13: Huella hídrica azul, verde y gris del alimento balanceado

Tipo de Alimento	WF[AB]	WF _{azul} [AB]	WF _{verde} [AB]	WF _{gris} [AB]
	litros/ton	litros/ton	litros/ton	litros/ton
Pre-inicio	889,716.53	63,437.65	706,577.02	119,701.87
		7.13%	79.42%	13.45%
Inicio	844,958.73	62,027.06	654,311.90	128,619.78
		7.34%	77.44%	15.22%
Acabado	790,640.43	58,655.54	606,536.81	125,448.09
		7.42%	76.71%	15.87%
Terminador	788,493.63	58,980.38	600,326.49	129,186.77
		7.48%	76.14%	16.38%
Finalizador	847,080.33	63,796.60	640,723.23	142,560.51
		7.53%	75.64%	16.83%
PROMEDIO	832,177.93	61,379.44	641,695.09	129,103.40
		7.38%	77.07%	15.55%

FUENTE: Elaboración propia

En promedio la huella hídrica del alimento balanceado es de 832,177.93 litros por tonelada, de la cual 7.38% es huella hídrica azul, 77.07% es huella hídrica verde y 15.55% es huella hídrica gris.

ANEXO 3: Consumos directos e indirectos de agua en la crianza

En el Tabla 8.14 se presenta información productiva de la granja de pollos de engorde en estudio, se compiló información productiva de la campaña de crianza de pollos en estudio.

Tabla 8.14: Información productiva de crianza

N° pollos bebé	Mortalidad de campaña	P[pollos vivos]	Peso pollo vivo	Peso total pollos vivos
und	%	und	kg/und	kg
432,262	4.55%	412,584	2.314	954,719.38

FUENTE: Elaboración propia

Consumos directos de agua en crianza (DW_{Cri})

El proceso de crianza de pollos de engorde tiene consumos directos de agua azul. En la Tabla 8.15 se indica los consumos de agua azul por actividad en la crianza de pollos de la campaña en estudio.

Tabla 8.15: Consumos directos de agua azul en crianza

Tipo de consumo	litros	Porcentaje
Bebida	3,454,800	89.49%
Lavado y desinfección	265,980	6.89%
Desinfección de vehículos	18,970	0.49%
Duchas	45,870	1.19%
Lavandería	14,430	0.37%
Necropsia	2,170	0.06%
Lava pies y manos	7,560	0.20%
Baño1	3,380	0.09%
Baño2	15,100	0.39%
Baño3	11,260	0.29%
Baño4	20,870	0.54%
$DW_{azul-Cri}$	3,860,390	100.00%

FUENTE: Elaboración propia

No existen consumos directos de agua verde, ni gris, dado que en la zona de estudio no existieron precipitaciones, ni aprovechamiento de agua de lluvias. Asimismo, los efluentes generados son enviados a pozos sépticos para su infiltración en el suelo. En la Tabla 8.16 se indican todos los consumos directos de agua en la crianza.

Tabla 8.16: Consumos directos de agua en crianza

$DW_{\text{azul-Cri}}$	$DW_{\text{verde-Cri}}$	$DW_{\text{gris-Cri}}$	DW_{Cri}
litros	litros	litros	litros
3,860,390	0	0	3,860,390

FUENTE: Elaboración propia

Consumos indirectos de agua en crianza (IW_{Cri})

En el proceso de crianza de pollos bebé solo se consideraron los consumos indirectos de agua de los insumos de alimento balanceado (AB), GLP y Diésel.

El Tabla 8.17 indica los volúmenes de consumo de los insumos en la crianza de pollos de engorde de la campaña en estudio.

Tabla 8.17: Volúmenes de consumo de insumos en crianza

$P[\text{AB}]$		$P[\text{GLP}]$	$P[\text{Diésel}]$
ton		gal	gal
Pre-inicio	146.55	19,210	60
Inicio	385.30		
Acabado	418.45		
Terminador	277.85		
Finalizador	396.55		

FUENTE: Elaboración propia

Dónde: 1 gal GLP = 0.080986997 GJ, 1 gal Diésel = 0.1406 GJ

Asimismo, las huellas hídricas teóricas se indican en la Tabla 8.18.

Tabla 8.18: Huella hídrica de insumos de la crianza

INSUMO		UNIDAD	HUELLA HÍDRICA	FUENTE BIBLIOGRÁFICA
$WF[\text{AB}]$	Pre-inicio	litros/ton	887,760.53	Estimación propia
	Inicio		844,958.73	
	Acabado		790,640.43	
	Terminador		788,493.63	
	Finalizador		847,080.33	
$WF[\text{GLP}]$		litros/GJ	110.00	Gerbens-Leenes et al. 2008
$WF[\text{Diésel}]$		litros/GJ	50.00	Gerbens-Leenes et al. 2008

FUENTE: Elaboración propia

Luego de determinar los volúmenes de consumo y huella hídrica de insumos de la crianza, se emplearon las ecuaciones (3.3) y (3.4) para obtener el consumo indirecto de agua en crianza. La Tabla 8.19 muestra el resultado.

Tabla 8.19: Consumos indirectos de agua en crianza

IW[AB]	IW[GLP]	IW[Diésel]	IW_{Cri}
litros	litros	litros	litros
1,341,500,055.72	171,133.62	421.80	1,341,671,611.15

FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, con los cálculos realizados de consumos directos e indirectos de agua en la crianza empleamos la ecuación (3.6) para calcular el consumo de agua en la crianza de la zona de estudio. El resultado se indica en el Tabla 8.20.

Tabla 8.20: Estimación de huella hídrica en la crianza

DW_{Cri}	IW_{Cri}	W_{Cri}
litros	litros	litros
3,860,390	1,341,671,611.15	1,345,532,001.15
0.29%	99.71%	100.00%

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 4: Ratio de agua virtual en el beneficio

La Tabla 8.21 presenta información productiva del beneficio de pollos vivos, se compiló información productiva desde el mes de junio hasta noviembre del 2016. Los pollos vivos son el insumo principal del beneficio, estos provienen de las granjas de crianza, el peso promedio del pollo vivo que ingresa a beneficio es de 2.314 kg, sin embargo, luego del beneficio solo el 80% del peso total es transformado a pollo beneficiado.

Tabla 8.21: Información productiva del beneficio

Meses	Pollos vivos	Peso promedio pollo vivo	Peso pollos vivos	Conversión a pollo beneficiado	P[pollo beneficiado]
	und	kg/und	kg	%	kg
JUN	3,154,887	2.314	7,300,409	80%	5,840,327
JUL	3,827,686		8,857,265		7,085,812
AGO	3,750,734		8,679,198		6,943,359
SET	3,342,778		7,735,188		6,188,151
OCT	3,080,848		7,129,082		5,703,266
NOV	2,741,443		6,343,699		5,074,959
TOTAL	19,898,376				46,044,842

FUENTE: Elaboración propia

Se estimó el ratio de agua virtual en el beneficio a partir de la ecuación (3.10), en la cual se requirió los cálculos de consumo directo e indirecto de agua (DW_{Ben} y IW_{Ben}).

Consumos directos de agua en beneficio (DW_{Ben})

El proceso de beneficio de pollos presenta consumos directos de agua azul y gris, pues la planta es abastecida de agua de pozo subterráneo y vierte sus efluentes líquidos a un cuerpo natural receptor. En los meses de estudio se superaron los límites máximos permisibles de vertimiento de E. Coli, por lo que se consumió agua gris del ambiente para diluir este contaminante biológico. La Tabla 8.22 resume los resultados del monitoreo de ambiental realizado.

Tabla 8.22: Resumen de monitoreo ambiental de efluentes líquidos

Parámetros	RESULTADOS MONITOREO		LÍMITES	
	Efluente líquido	Cuerpo natural receptor	LMP	ECA
Caudal (m ³ /s)	0.07	0.27	-	-
Coliformes totales (NMP/100mL)	2400	130	400	5000

FUENTE: SGS PERÚ, 2016

La planta de tratamiento vierte efluentes líquidos por un periodo promedio continuo de 12 horas.

Al haber un exceso en la concentración de vertimiento de un contaminante, existe agua gris consumida por el cuerpo receptor, por lo que se cuantificó el agua gris del beneficio. Con la información del Tabla 8.22 se aplicó la ecuación (2.4) que determina la huella hídrica gris de un proceso ($WF_{gris-Ben}$). Los resultados se indican en el Tabla 8.23.

Tabla 8.23: Huella hídrica gris del beneficio (litros/min)

Q_{ef}^*	C_{ef}	$C_{máx}$	C_{nat}	$WF_{gris-Ben}$	$WF_{gris-Ben}$
litros/hr	(NMP/100mL)	(NMP/100mL)	(NMP/100mL)	litros/hr	litros/min
252,000	2,400	400	130	2,118,666.67	35,311.11

FUENTE: Elaboración propia

El valor de 35,311.11 litros por minuto nos indica el consumo de agua del ambiente para diluir los contaminantes vertidos por minuto, sin embargo, para determinar los consumos directos de agua gris en los meses de estudio; se tuvo que calcular previamente un factor de conversión (ver Tabla 8.24). Este factor de conversión se calculó con la ecuación (3.12).

Tabla 8.24: Factor de conversión

N° pollos beneficiados por hora	Peso pollo vivo	Conversión a pollo beneficiado	f[Ben]
pollos/hora	kg/pollo	%	min/kg
8000	2.314	80%	0.00405143

FUENTE: Elaboración propia

Determinado el factor de conversión ($f[Ben]$) y la huella hídrica gris del beneficio de pollos ($WF_{gris-Ben}$), podemos aplicar la ecuación (3.11) para determinar el consumo directo de agua gris en los meses de estudio. La Tabla 8.25 muestra los resultados.

Tabla 8.25: Consumos directos de agua gris en el beneficio

Meses	WF _{gris-Ben}	f[Ben]	P[pollo beneficiado]	DW _{gris-Ben}
	litros/min	min/kg	kg	m ³
JUN	35,311.11	0.00405143	5,840,326.81	835,519.21
JUL			7,085,812.32	1,013,698.81
AGO			6,943,358.78	993,319.36
SET			6,188,150.63	885,279.01
OCT			5,703,265.82	815,911.22
NOV			5,074,959.28	726,025.46

FUENTE: Elaboración propia

El Tabla 8.26 presenta los consumos directos de agua azul, verde y gris en el beneficio.

Tabla 8.26: Consumos directos de agua en el beneficio

Meses	DW _{azul-Ben}	DW _{verde-Ben}	DW _{gris-Ben}	DW _{Ben}
	m ³	m ³	m ³	m ³
JUN	70,470	0	835,519.21	905,989.21
JUL	78,310	0	1,013,698.81	1,092,008.81
AGO	78,000	0	993,319.36	1,071,319.36
SET	75,340	0	885,279.01	960,619.01
OCT	68,470	0	815,911.22	884,381.22
NOV	71,140	0	726,025.46	797,165.46
TOTAL	441,730	0	5,269,753.08	5,711,483.08
	7.73%	0.00%	92.27%	

FUENTE: Elaboración propia

Consumos indirectos de agua en el beneficio (IW_{Ben})

En el proceso de beneficio se tienen consumos indirectos de agua a partir de los siguientes insumos: GLP, diésel y energía eléctrica (EE). En el Tabla 8.27 se muestran los volúmenes de consumo de insumos en los meses de estudio, asimismo en el Tabla 8.28 se muestran las huellas hídricas de cada insumo.

Tabla 8.27: Volúmenes de consumo de insumos en el beneficio

Meses	P[GLP]	P[Diésel]	P[EE]
	gal	gal	Kwh
JUN	23,979	100	670,860
JUL	25,831	80	659,980
AGO	27,860	150	685,240
SET	29,200	6,970	661,260

OCT	26,420	7,050	591,600
NOV	24,642	8,150	571,940

FUENTE: Elaboración propia

Dónde: 1 gal GLP = 0.080986997 GJ, 1 gal Diésel = 0.1406 GJ

Tabla 8.28: Huella hídrica de insumos del beneficio

INSUMO	UNIDAD	HUELLA HÍDRICA	FUENTE BIBLIOGRAFICA
WF[GLP]	litros/GJ	110	Gerbens-Leenes et al. 2008
WF[Diésel]	litros/GJ	50	Gerbens-Leenes et al. 2008
WF[EE]	litros/Kwh	80	Gerbens-Leenes et al. 2008

FUENTE: Elaboración propia

Luego de determinar los volúmenes de consumo y huella hídrica de los insumos del beneficio, se emplean las ecuaciones (3.3) y (3.4) para obtener el consumo indirecto de agua en el beneficio. La Tabla 8.29 muestra los resultados.

Tabla 8.29: Consumos indirectos de agua en el beneficio

Meses	IW[GLP]	IW[Diésel]	IW[E.E.]	IW_{Ben}	IW_{Ben}
	litros	litros	litros	litros	m³
JUN	213,615.92	703.00	53,668,800	53,883,118.92	53,883.12
JUL	230,116.37	562.40	52,798,400	53,029,078.77	53,029.08
AGO	248,192.75	1,054.50	54,819,200	55,068,447.25	55,068.45
SET	260,130.23	48,999.10	52,900,800	53,209,929.33	53,209.93
OCT	235,364.41	49,561.50	47,328,000	47,612,925.91	47,612.93
NOV	219,524.08	57,294.50	45,755,200	46,032,018.58	46,032.02
				308,835,518.77	308,835.52

FUENTE: Elaboración propia

Finalmente, se emplea la ecuación (3.10) para calcular el ratio de agua virtual en el beneficio, los resultados se muestran en el Tabla 8.30.

Tabla 8.30: Ratio de agua virtual en el beneficio

DW_{Ben}	IW_{Ben}	DW_{Ben}+IW_{Ben}	P[pollo beneficiado]	RW_{Ben}	RW_{Ben}
m³	m³	m³	kg	m³/kg	litros/kg
5,885,405.31	308,835.52	6,194,240.83	36,835,874	0.1682	168.16
95.01%	4.99%	100.00%			

FUENTE: Elaboración propia

ANEXO 5: Plano de ubicación – Planta de incubación Chancay



LEYENDA

— Vía Departamental	■ Planta de Incubación - Chancay
— Vía Vecinal	□ Límite distrital
— Vía Nacional	□ Límite provincial
— Hidrografía	□ Límite regional
— Quebrada	
— Río	

PROYECTO: HUELLA HÍDRICA DE LA CRIANZA DEL POLLO DE ENGORDE EN LA COSTA DE LIMA		
MAPA: PLANTA DE INCUBACIÓN - CHANCAY		
FUENTE: Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN)	UBICACIÓN: Departamento: Lima Provincias: Huacho, Chancay y Huáral	
REVISADO: CRA	FECHA: ABRIL 2017	MAPA N.º: 01
VALIDADO: ECA	PROYECCIÓN Y DATUM: UTM - Zona 18 Sur, WGS 84	
ESCALA: 1:5,000		

ANEXO 6: Plano de ubicación – Planta de alimentos balanceados Chancay

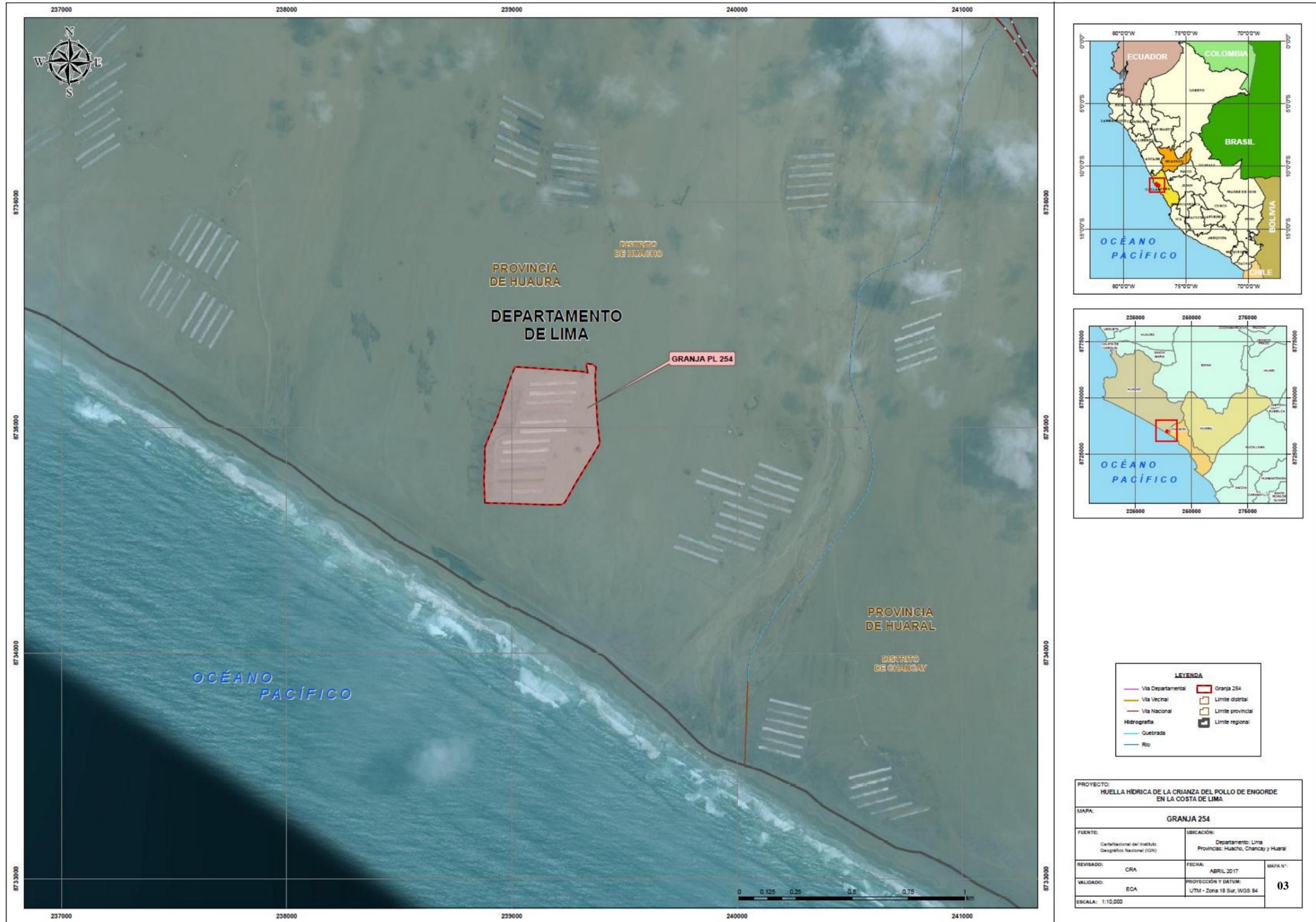


LEYENDA

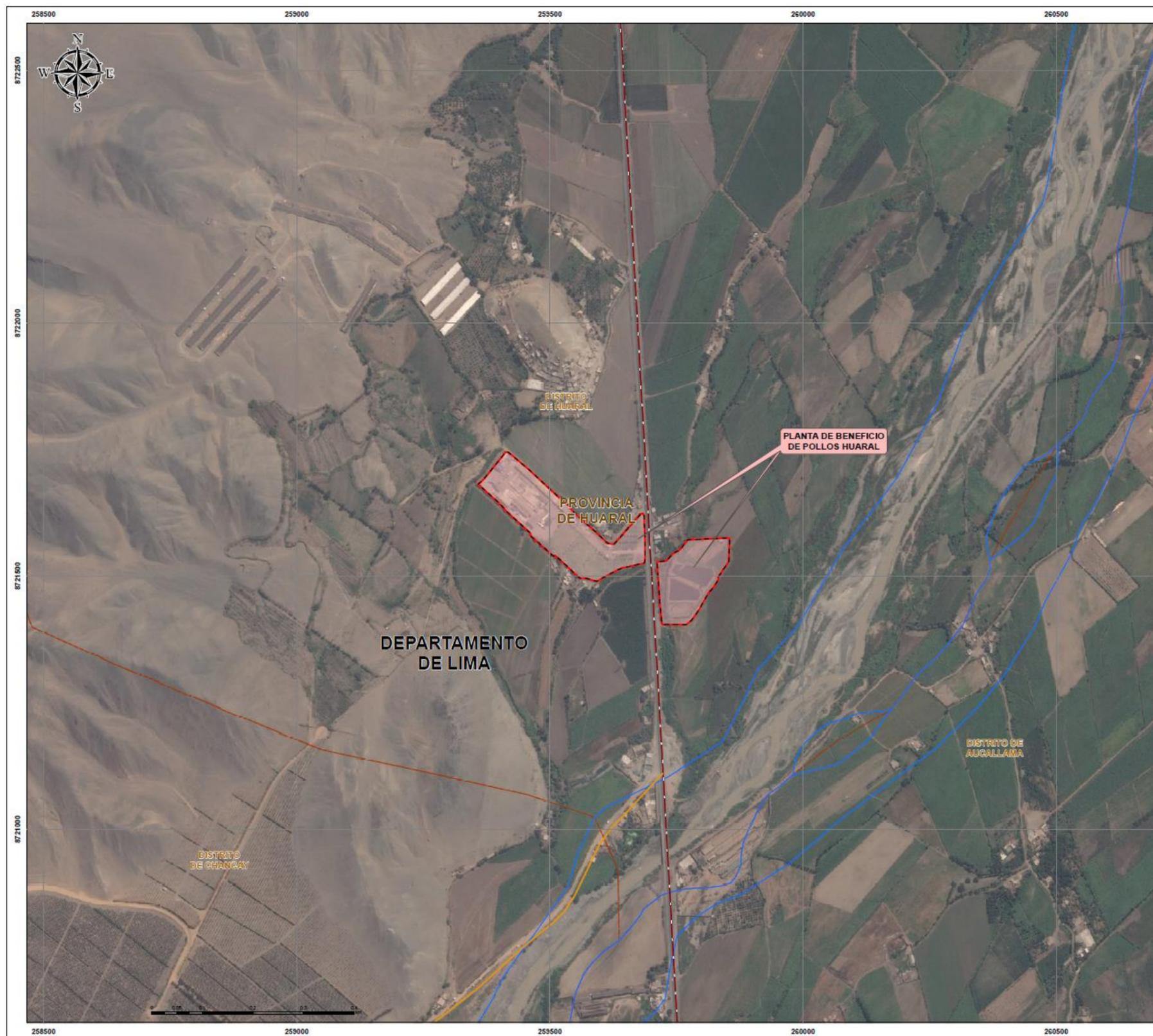
	Vía Departamental		Planta de Alimentos Balanceados - Chancay
	Vía Vecinal		Limite distrital
	Vía Nacional		Limite provincial
	Hidrografía		Limite regional
	Quebrada		
	Río		

PROYECTO: HUELLA HIDRICA DE LA CRIANZA DEL POLLO DE ENGORDE EN LA COSTA DE LIMA		
MAPA: PLANTA DE ALIMENTOS BALANCEADOS - CHANCAY		
FUENTE: Carta Nacional del Instituto Geográfico Nacional (IGN)	UBICACIÓN: Departamento: Lima Provincias: Huaral, Chancay y Huaral	
REVISADO: CRA	FECHA: ABRIL 2017	MAPA N°:
VALIDADO: ECA	PROYECCIÓN Y DATUM: UTM - Zona 18 Sur, WGS 84	02
ESCALA: 1:5.000		

ANEXO 7: Plano de ubicación – Granja de pollos PL 254



ANEXO 8: Plano de ubicación – Planta de beneficio de pollos Huaral



LEYENDA

	Via Departamental		Planta de Beneficio de Pollos - Huaral
	Via Vecinal		Limite distrital
	Via Nacional		Limite provincial
	Hidrografia		Limite regional
	Quebrada		
	Rio		

PROYECTO: HUELLA HIDRICA DE LA CRIANZA DEL POLLO DE ENGORDE EN LA COSTA DE LIMA		
MAPA: PLANTA DE BENEFICIO DE POLLOS - HUARAL		
FUENTE: Cartanacional del Instituto Geografico Nacional (IGN)	UBICACION: Departamento: Lima Provincias: Huacho, Chancay y Huaral	
REVISADO: CRA	FECHA: ABRIL 2017	MAPA N.º:
VALIDADO: ECA	PROYECCION Y DATUM: UTM - Zona 18 Sur, WGS 84	04
ESCALA: 1:5.000		