

**EVALUACIÓN DEL USO SUSTENTABLE DEL RECURSO HÍDRICO EN DOS  
UNIDADES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA RURAL CONVENCIONAL Y  
ECOLÓGICA: CASO VEREDA LA REQUILINA-USME**

**Liliana Hernández Romero**



**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS  
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
MAESTRÍA EN DESARROLLO SUSTENTABLE y GESTIÓN AMBIENTAL  
Bogotá, D.C.  
Agosto 2019**

**EVALUACIÓN DEL USO SUSTENTABLE DEL RECURSO HÍDRICO EN DOS  
UNIDADES DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA RURAL CONVENCIONAL Y  
ECOLÓGICA: CASO VEREDA LA REQUILINA-USME**

**Trabajo presentado para optar al título de:  
Magister en Desarrollo Sustentable y Gestión Ambiental**

**Director**

**Helmut Espinosa García**

**Ingeniero Forestal**

**M.Sc en Desarrollo Rural**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSE DE CALDAS  
FACULTAD DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES  
MAESTRÍA EN DESARROLLO SUSTENTABLE Y GESTIÓN AMBIENTAL  
Bogotá, D.C.  
Agosto 2019**

**“Las ideas emitidas por los autores son de exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente opiniones de la Universidad” (Artículo 117, Acuerdo 029 de 1998)**

## CONTENIDO

<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>Palabras clave</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>Keywords</b> .....	12
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	16
1.1. Preguntas de investigación .....	17
1.2. Hipótesis.....	18
<b>2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	19
<b>3. ESTADO DEL ARTE</b> .....	21
<b>4. OBJETIVOS</b> .....	24
4.1. Objetivo general .....	24
4.2. Objetivos específicos .....	24
<b>5. MARCO DE REFERENCIA</b> .....	25
5.1. Marco Teórico.....	25
5.1.1. Desarrollo sustentable.....	25
5.1.2. Uso sustentable del recurso hídrico .....	26
5.1.3. Enfoque de sistemas y sistema finca .....	27
5.1.4. Gestión Integral del Recurso Hídrico - GIRH.....	28
5.2. <b>Marco Conceptual</b> .....	30
5.2.1. Modelos de agricultura en Colombia .....	30
5.2.2. Recurso hídrico en el contexto local.....	32
5.2.3. Alteración del recurso hídrico en sistemas agrícolas.....	33
5.2.4. Huella Hídrica.....	34
5.2.4.1. Cropwat 8.0 para windows .....	35

5.2.5. Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad - MESMIS .....	35
5.2.6. Medición y evaluación del uso sustentable del agua.....	36
5.2.7. Evaluación comparada .....	36
<b>5.3. Marco Institucional de la Gestión del Agua en Colombia.....</b>	<b>38</b>
5.3.1. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico .....	38
5.3.2. Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH .....	39
<b>6. METODOLOGÍA .....</b>	<b>41</b>
6.1. Enfoque Metodológico .....	41
6.1.1 Estudio de caso.....	41
6.2. Localización del área de estudio .....	42
6.3. Ruta Metodológica .....	42
6.4. Instrumentos metodológicos.....	44
6.4.1. Instrumentos metodológicos del objetivo 1.....	44
6.4.2. Instrumentos metodológicos del objetivo 2.....	45
6.4.3. Instrumentos metodológicos del objetivo 3.....	47
6.4.4. Análisis y discusión de los resultados .....	56
6.4.4.1. Discusión con base en la propuesta de investigación .....	56
<b>7. RESULTADOS.....</b>	<b>57</b>
<b>7.1. Caracterización de las unidades de estudio .....</b>	<b>57</b>
7.1.1. Tipificación sistema finca producción convencional.....	57
7.1.2. Tipificación sistema finca producción ecológica .....	60
<b>7.2. Aspectos funcionales que alteran las características del recurso hídrico.....</b>	<b>66</b>
7.2.1. Apropiación, uso y alteración del recurso hídrico.....	66

7.2.2. Diagramas de flujo Huella Hídrica .....	67
7.2.3. Calculo de la Huella Hídrica Total .....	70
7.2.3.1. Huella Hídrica Verde – HHV .....	70
7.2.3.2. Huella Hídrica Azul – HHA.....	70
7.2.3.3. Huella Hídrica Gris – HHG .....	71
7.2.3.4. Huella Hídrica Total – HHT.....	73
7.2.2. Puntos críticos con base en la Huella Hídrica y sus categorías.....	74
<b>7.3. Sistema de indicadores hídricos .....</b>	<b>75</b>
7.3.1. Medición del sistema de indicadores .....	75
7.3.2. Estandarización de los indicadores.....	75
7.3.3. Resultados obtenidos para el sistema de indicadores.....	76
7.3.3.1. Sistema de producción convencional .....	77
7.3.3.2. Sistema de producción ecológico .....	78
<b>8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
8.1. Evaluación del uso sustentable del recurso hídrico .....	79
8.1.1. Índice de Oferta (IO) .....	79
8.1.2. Índice de Demanda (ID).....	79
8.1.3. Índice de Calidad del Agua (ICA).....	80
8.1.4. Índice de Riesgo (IR) .....	81
8.1.5. Índice de Fortalecimiento Institucional oferta (IFI) .....	81
8.1.6. Índice de Gobernanza (IG).....	81
8.2. Evaluación del sistema de indicadores .....	82
8.3. Discusión con base en la propuesta metodológica.....	83

<b>9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
9.1. Conclusiones.....	84
9.2. Recomendaciones.....	85
<b>10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>87</b>
<b>11. ANEXOS .....</b>	<b>90</b>
Anexo A Registro Fotográfico.....	98
Anexo B Matrices síntesis de la caracterización de la zona de estudio .....	99
Anexo C Formularios tipo encuesta .....	103
Anexo D Síntesis de datos requeridos por el software.....	105
Anexo E Matrices de descripción de las líneas de acción para evaluar indicadores .....	107
Anexo F Tipificación del sistema finca ecológico.....	110
Anexo G Datos que genera el software a partir del ingreso de los valores climatológicos de las estaciones. ....	115
Anexo H Cálculos para la determinación de la huella hídrica total .....	118
Anexo I Calculo del sistema de indicadores .....	120
Anexo J Prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon.....	123

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Criterios para el uso sustentable del recurso hídrico .....	26
Tabla 2. Categorías de la Huella Hídrica .....	34
Tabla 3. Fases del modelo MESMIS .....	35
Tabla 4. Elementos de la investigación comparada .....	36
Tabla 5. Principios de la PNGIRH .....	38
Tabla 6. Objetivos de la PNGIRH .....	39
Tabla 7. Aspectos del PORH.....	40
Tabla 8. Localización y generalidades de las unidades de estudio .....	42
Tabla 9: Matriz síntesis consulta en base de datos especializadas.....	46
Tabla 10. Características generales de las estaciones meteorológicas .....	46
Tabla 11. Ecuaciones de cálculo huella hídrica total y sus componentes .....	45
Tabla 12. Propuesta y descripción de indicadores .....	48
Tabla 13. Descripción de cálculo para el sistema de indicadores .....	49
Tabla 14. Rango y categoría de estandarización para la categoría funcional .....	52
Tabla 15. Rango y categoría de estandarización para la categoría política e institucional.....	53
Tabla 16. Escala de medición para el indicador de Oferta .....	53
Tabla 17. Escala de medición para el indicador de Demanda.....	53
Tabla 18. Escala de medición para el indicador de Calidad .....	53
Tabla 19. Escala de medición para el indicador de Riesgo .....	54
Tabla 20. Escala de medición para el indicador de Fortalecimiento Institucional ..	54
Tabla 21. Escala de medición para el indicador de Gobernanza.....	54
Tabla 22. Rango y categorías para el sistema de indicadores hídricos.....	55
Tabla 23. Matriz síntesis del sistema finca de producción convencional: Unidad agrícola .....	58
Tabla 24. Matriz síntesis del sistema finca de producción ecológica: Unidad agropecuaria .....	61



Tabla 25. Matriz síntesis comparativa .....	64
Tabla 26. Información del cultivo de arveja .....	67
Tabla 27. Matriz síntesis de las fuentes de abastecimiento de agua en los sistemas finca.....	74
Tabla 28. Resultados Huella Hídrica Verde.....	70
Tabla 29. Resultados Huella Hídrica Azul.....	70
Tabla 30. Característica de los agroquímicos empleados en la producción convencional .....	71
Tabla 31. Composición y cantidad de agroquímico aplicado en el cultivo convencional .....	72
Tabla 32. Composición y cantidad de agroquímico aplicado en el área total del cultivo .....	72
Tabla 33. Composición y cantidad de gallinaza aplicada en el cultivo ecológico .	73
Tabla 34. Resultados Huella Hídrica Gris.....	73
Tabla 35. Matriz de síntesis de valores obtenidos para las categorías de la huella hídrica .....	74
Tabla 36. Matriz comparativa por puntos críticos de acuerdo con la huella hídrica y sus tres categorías .....	74
Tabla 37. Síntesis de valores para cada indicador .....	75
Tabla 38. Matriz de estandarización de los valores para los indicadores .....	75
Tabla 39. Matriz de categorías para los indicadores estandarizados .....	75
Tabla 40. Matriz comparativa de los indicadores vs sistema ideal .....	76
Tabla 41. Matriz de categorías para el sistema de indicadores hídricos .....	76
Tabla 42. Matriz comparativa del desempeño por componentes .....	76
Tabla 43. Matriz comparativa por puntos críticos .....	76

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Imagen área de estudio .....	42
Figura 2. Identificación general de las subcategorías de huella hídrica para cada una de las actividades en la producción ecológica.....	68
Figura 3. Identificación general de las subcategorías de huella hídrica para cada una de las actividades en la producción convencional ecológica.....	69
Figura 4. Grafico tipo Red: Sistema de Indicadores Hídricos .....	77
Figura 5. Fortalezas y debilidades de la propuesta metodológica.....	82

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación, tuvo como objetivo aproximarse a evaluar de forma comparada el uso sustentable del recurso hídrico, desde el enfoque de la Gestión Integral del Recurso Hídrico (GIRH), articulada a nivel nacional gracias a la Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico (PNGIRH). A partir, de la propuesta de un modelo a nivel exploratorio cuando se cuenta con pocos datos; tomando como referencia dos sistemas de producción agrícola rural antagónicos convencional y ecológico en la vereda la Requilina de la localidad de Usme.

Se planteó un modelo, a través, de la combinación y adaptación de metodologías ampliamente reconocidas, como lo son Huella Hídrica (HH), Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS) e indicadores de sustentabilidad. Durante el proceso de adaptación se realizó tratamiento de datos cualitativos y cuantitativos que lograron ser estandarizados gracias al modelo planteado.

La propuesta del sistema de indicadores hídricos, comprendió dos categorías de análisis, una de tipo funcional, que corresponde a cuatro indicadores: indicador de oferta (IO), indicador de demanda (ID), indicador de calidad (ICA) e indicador de riesgo (IR), y la otra político e institucional que comprende dos indicadores: indicador de fortaleza institucional (IFI) e indicador gobernanza (IG). Como resultado se obtuvo un desempeño alto para la categoría funcional en el sistema ecológico, para los cuatro indicadores (IO, ID, ICA, IR); para estos mismos indicadores en el sistema convencional, presentaron un desempeño variado, alto para IO, bajo para el ID y para los ICA y IR un desempeño crítico; el desempeño de esta categoría (excepto el IO), dependen de esencialmente de la toma de decisiones del productor. Por otra parte, para la categoría político e institucional que corresponde al IFI y IG, presenta un desempeño bajo, en los dos sistemas de producción, indicadores que dependen esencialmente de la autoridad ambiental de la localidad.

**Palabras Clave:** Agricultura, Sistemas de producción rural, GIRH, MESMIS, Indicadores de Sustentabilidad.

## ABSTRACT

The objective in this research work, it was approach to evaluate the sustainable use of water resources, from the Integral Management of Water Resources (in Spanish, GIRH) approach, articulated at the national level, thanks to the National Policy for the Integrated Management of Water Resources (in Spanish, PNGIRH). Based on an exploratory methodological proposal, when there is little data available; taking as a reference two systems production antagonist of rural agricultural, conventional and ecological in the village la Requilina, Usme town.

It was proposed a model, through the combination and adaptation of widely recognized methodologies, such as the Water Footprint (in spanish, HH), the Framework for the Evaluation of Natural Resources Management Systems Incorporating Sustainability Indicators (in spanish MESMIS) and finally sustainability indicators. During the adaptation process, qualitative and quantitative data processing was carried out, which managed to be standardized thanks to the proposal.

The analysis of the indicator system include two categories, one of functional type that corresponds to four indicators: indicator of supply (IO), indicator of demand (ID), indicator of quality (ICA) and indicator of risk (IR), and the other one political and institutional that includes two indicators: indicator of institutional strength (IFI) and indicator of governance (IG). As a result a high performance for the functional category in the ecological system conventional, for all indicators (IO, ID, ICA, IR); for these same indicators for the conventional system, presented a varied performance, high performance for the IO, low performance for the ID, for the ICA IR critical performance, therefore, does not favor the indicator system; the performance of this category (except the IO), depend essentially on the decision making of the producer. On the other hand, for the political and institutional category that corresponds to IFI and the IG, for the two production systems, there is a low performance, which essentially depends on the local environmental authority.

**Keywords:** Agriculture, Rural production systems, GIRH, MEMIS, Sustainability indicators.

## INTRODUCCIÓN

El recurso hídrico es fundamental en la producción agrícola, lograr conservar su producción natural (cantidad) y mantener su conservación y disponibilidad original (calidad), son una recurrente preocupación para los agricultores y para la población en general, en zonas de regulación del potencial hídrico como sucede en el ecosistema de páramo que ofrece diferentes servicios ecosistémicos, destacándose el aprovisionamiento de agua dulce en términos de oferta y demanda hídrica (Nieto, Cardona y Agudelo, 2015). En el caso de las actividades rurales convencionales agrícolas, el uso del recurso hídrico se ve afectado por las prácticas de manejo de los cultivos como la sobre fertilización y el inadecuado control de plagas y enfermedades con el uso de sustancias químicas que la contaminan.

La GIRH busca actuar sobre las causas de la gestión deficiente como son la ineficiencia, los conflictos crecientes y el uso no coordinado del este recurso. La PNGRH, se presenta como una respuesta a la crisis del agua expresada en la presión insostenible sobre el recurso hídrico, debida a la creciente demanda de agua, la contaminación y el crecimiento demográfico (Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Ante los conflictos de sostenibilidad en la gestión de los recursos hídrico en el medio rural, se identifica la importancia en el cambio de las prácticas que dejó la revolución verde (se centró principalmente en el aumento de la productividad) (León, 2007). Surge como alternativa la producción agroecológica, como un enfoque de desarrollo rural sostenible, que involucra el manejo integrado del agua en la producción con la reducción de la ineficiencia económica y mayor optimización en temas centrales como el riego, la cosecha y postcosecha (Guzmán, González y Sevilla, 2000).

La ciudad de Bogotá cuenta con área rural, la vereda la Requilina (localidad de Usme), posee una superficie total de 21.507 ha, de estas 2.120 ha corresponden a suelo urbano, 902 ha se clasifican como suelo de expansión urbana y las restantes *18.485 ha constituyen el suelo rural* (Sosa y Bonilla, 2017); por lo tanto la localidad ha sido considerada de gran importancia para el desarrollo del Distrito Capital, ya que, una parte de la población de la ciudad se abastece de agua; las zonas de reserva definidas como bosques, quebradas, nacederos y páramos, son de importante cubrimiento en la región. Las veredas más altas que presentan cercanía al páramo presentan conflictos entre conservación y producción agropecuaria (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2009). Así mismo, la zona presenta un gran potencial como productora de agua y reserva acuífera para el distrito capital. Algunos de los indicadores más representativos del recurso hídrico guardan relación con la calidad del agua y la disponibilidad y consumo del agua (Alcaldía Local de Usme, 2017).

En la vereda la Requilina, la vocación agrícola de la región hace referencia, principalmente, a las variedades del cultivo de papa que tradicionalmente ha sido

el más extendido (Alcaldía Local de Usme, 2013); no se debe olvidar que el cultivo de papa es el principal impacto de la agricultura de páramo, actualmente se presenta un progresivo avance de la frontera de páramo, y su intensificación implica utilización de maquinaria agrícola y de insumos químicos para fertilización, y pesticidas para el control de plagas (Vargas, 2013); la expansión de la frontera agrícola, en general sobre suelos no aptos destruye ecosistemas valiosos como generadores de servicios ambientales, que terminan afectando toda la potencialidad de las áreas agrícolas de la cuenca (Secretaría Distrital de Ambiente, 2010), así mismo, en la vereda existe conflicto de uso del suelo por sobreutilización ligera (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).

La presente investigación busca aproximarse a evaluar el uso sustentable del recurso hídrico desde el enfoque de la GIRH, a partir, de una propuesta metodológica exploratoria; tomando dos unidades de observación para evaluar de forma comparada la producción agrícola rural: convencional y ecológica en la vereda la Requilina de la localidad de Usme. La evaluación comparativa es una de las formas más comunes de medir la sustentabilidad (Acevedo y Angarita, 2013).

Por lo tanto, la investigación se soporta en teorías importantes como los son la del desarrollo sustentable, dadas en el informe “Nuestro Futuro Común” por parte Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo (CMMAD, 1987), fue considerada como el desarrollo que cubre las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones del futuro de cubrir sus propias necesidades. Así mismo, se incluye el concepto de uso sustentable del agua de acuerdo con Gleick (1996); como el uso que permite sostener a una sociedad para que perdure y se desarrolle en un futuro indefinido sin alterar la integridad del ciclo hidrológico y de los ecosistemas que dependan de él.

Adicionalmente se tiene en cuenta el marco de la GIRH, de acuerdo con la Global Water Partnership ([GWP], 2009) es un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, de los recursos del suelo y otros recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas importantes.

Para el desarrollo de la presente investigación, inicialmente se realizó una caracterización de la zona de estudio y de las dos unidades de análisis; para la primera se realizó una consulta y recopilación de información secundaria, la información se sintetizó, a través, de fichas técnicas teniendo en cuenta tres (3) categorías de información: características biofísicas, características socioeconómicas, y características socioculturales; y para la tipificación de las unidades de estudio, a través, de entrevistas estructuradas tipo lista de chequeo, aplicadas en campo durante el último trimestre del año 2016 al productor, teniendo en cuenta aspectos de estructura y función de acuerdo con lo propuesto por Malagón y Prager (2001).

En segundo lugar, se realizó la caracterización del recurso hídrico, a través, de la de entrevistas estructuras tipo lista de chequeo, aplicadas en campo al productor, las cuales incluyeron identificación, requerimientos, fuentes y aprovechamientos

de agua para cada una de las actividades desarrolladas durante la actividad agrícola; con base en la información recolectada, se establece un modelo conceptual, tomando como referencia el marco metodológico propuesto por la Red Internacional de Huella Hídrica (Hoekstra, Chapagain, Aldaya & Mekonnen, 2011), inicialmente se proponen diagramas de flujo para cada una de las dos unidades de estudio de forma independiente, este diagrama representa cada una de las actividades desarrolladas durante la totalidad del ciclo productivo y su relación con una o más de las tres categorías de la huella hídrica, permitiendo a su vez, realizar el cálculo de la Huella Hídrica Total -HHT y sus tres categorías (Huella Hídrica Verde HHV, Huella Hídrica Azul – HHA y Huella Hídrica Gris - HHG), a través del software cropwat 8.0 para Windows. Posteriormente se identificaron los puntos críticos que se presentan.

En tercer lugar y a partir de los valores obtenidos para la huella hídrica total y sus tres categorías, se consolidó la información para establecer un sistema de indicadores hídricos, que permitió evaluar de forma comparada el uso sustentable del agua en los dos sistemas de producción agrícola rural, desde el enfoque de la GIRH y articulado en Colombia, a través, de la PNGIRH; teniendo en cuenta el concepto de uso sustentable del agua, precisado bajo el criterio de conservar la calidad y cantidad de agua. El modelo a nivel exploratorio, integró los enfoques metodológicos de MESMIS (Matera, Astier, y López-Ridaura, 1999), y el uso de indicadores de sustentabilidad planteados por Sarandón y Flores (2009) y Sarandón, Flores, Gargoloff y Blandi (2014); con el propósito de evaluar el uso sustentable del recurso hídrico, en dos sistemas de producción rural antagónicos de pequeña escala, a nivel de subcuenca. Por lo tanto, esto generó que la investigación sea de tipo cualitativo y cuantitativo y que articule metodologías de ambos principios.

El presente documento, es el primer trabajo en la vereda la Requilina, que propone un modelo a nivel exploratorio, que permite aproximarse a evaluar de forma comparada el uso sustentable del recurso hídrico, a través, de un sistema de indicadores hídricos, en dos sistemas de producción agrícola rural antagónicos, por lo tanto, pone en evidencia la necesidad de avanzar con la construcción y adaptación de este tipo de modelos.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

De acuerdo con el Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos, ([WWAP], 2017) existen vacíos de conocimiento, relacionados con la contaminación del agua proveniente de la agricultura. En la mayoría de las cuencas y países, principalmente en aquellos en desarrollo, no se ha identificado la verdadera incidencia de los cultivos, la cría de ganado y la acuicultura con la contaminación del agua. La Información es fundamental para que los gobiernos nacionales puedan entender la dimensión del problema y de esta forma elaborar políticas sólidas.

Por lo tanto, la disponibilidad de agua dulce impone importantes restricciones a su uso indiscriminado y competencia de usuarios. La agricultura es la actividad humana que hace un mayor uso del agua para consumo. Por lo tanto, el modelo de agricultura elegido, tendrá un gran impacto sobre este recurso (Sarandón et al., 2014).

De acuerdo con el plan de manejo ambiental para la vereda la Requilina, propuesto por Sosa y Bonilla (2017), una de las principales problemáticas en la localidad de Usme es la ausencia de medidas de gestión ambiental en proyectos de desarrollo. Actualmente, la vereda la Requilina (zona de estudio) no cuenta con estudios ambientales o proyectos de recuperación (al igual que en toda el área rural de esta localidad), a pesar, de que la reglamentación exige que dentro de los procesos de planificación territorial se debe incluir acciones de manejo ambiental, las instituciones locales y distritales no pueden establecer planes de acción, seguimiento y monitoreo a las actividades de alto impacto que se puedan presentar en el casco urbano y en la zona rural de la localidad (Villegas, 2010).

La vereda la Requilina hace parte de la zona rural de la localidad de Usme, la cual es considerada como un área de transición entre el suelo urbano y el suelo rural de la localidad, esta área rural es considerada de transición al ecosistema de páramo (ubicado en la localidad del Sumapaz), lo anterior la caracteriza como un importante espacio de producción de agua y alimentos para la ciudad, así como también, un reservorio de diversidad y recursos naturales. Esta es una de las razones por las que se considera a Usme como un territorio potencial de desarrollo sustentable. No obstante, a pesar de estar su suelo declarado de protección, según el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de Bogotá (Alcaldía Mayor de Bogotá, 2000), se ha visto deteriorado por el uso de agroquímicos, la inapropiada disposición de residuos, que generan a su vez contaminación de fuentes hídricas (Pérez y Villamil, 2018). La contaminación hídrica en la vereda, se presenta principalmente por actividades desarrolladas por la población, algunas, a su vez, provienen de fincas que no participan en la ruta agroturística, ya que, no se realiza una gestión y disposición adecuada de los residuos generados, los cuales son vertidos a las fuentes hídricas con residuos de agroquímicos, detergentes, grasas y aguas residuales domésticas (Sosa y Bonilla, 2017).



La creación de la Ruta Agroturística la Requilina (se conformó por 11 campesinas propietarias de fincas), ha favorecido la construcción de propuestas de territorialización que privilegian la habitabilidad de la población campesina y sus formas de reproducción social y económica. Muestra de ello ha sido la puesta en práctica del turismo agroecológico, la producción hortícola y el mercado de productos orgánicos. Además, los pobladores de la zona, dan testimonio, del amplio proceso de gestión local a cargo de la organización “Asamblea Sur”, que ha liderado la propuesta de constituir un pacto de borde en el que se defina la vinculación de los habitantes rurales y urbanos del sector, así como, la construcción de iniciativas de desarrollo local que den reconocimiento al modelo de ocupación campesino que prevalece, para ello proponen al gobierno de la ciudad acciones tendientes a conservar la estructura ecológica principal mediante la representatividad del sistema de áreas protegidas, la oferta de bienes y servicios ambientales y ecosistémicos, los cuerpos de agua superficiales, los acuíferos y sus zonas de recarga, para asegurar la regulación del ciclo hidrológico (Pérez y Villamil, 2018).

Bajo estos alcances, no se logró identificar de forma clara la presencia de instrumentos que permitan evaluar los niveles del uso sustentable del recurso hídrico, en la producción agrícola rural en sistemas antagónicos, en zonas de frontera con ecosistemas frágiles como lo son, los de alta montaña. Ante la ausencia de modelos metodológicos y la dificultad para establecer procesos de comparabilidad funcional a nivel finca, se percibe la necesidad de plantear una metodología exploratoria, que permita evaluar de forma comparada el uso sustentable del recurso hídrico, en agroecosistemas de pequeña escala. De acuerdo con la Secretaria Distrital de Ambiente (2009) el área de siembra se desarrolla entre 0 a 3 ha, y representa aproximadamente el 74%, de los productores agrícolas de la localidad. También vale la pena tener en cuenta que de acuerdo con Varela (2010), el enfoque de los estudios sobre la producción agrícola en el país ha sido principalmente orientada a maximizar la producción y mejorar los procesos de transferencia tecnológica, lo cual implica adicionalmente que muchos de los estudios, se han enfocado sobre formas de producción tecnificadas, dejando en un segundo plano la producción de origen campesino.

### 1.1. Preguntas de investigación

- ✓ ¿Cómo puede afectar el modelo agrícola elegido y desarrollado por el agricultor, en la apropiación, manejo y uso sustentable del recurso hídrico?
- ✓ ¿Cuáles son los aspectos más relevantes del manejo de la producción, convencional y ecológica que favorecen o no el uso sustentable del recurso hídrico?

## 1.2. Hipótesis

- ✓ El sistema de producción agrícola ecológico, presenta mayor sustentabilidad relativa, frente al sistema de producción convencional, ya que, es identificable de manera significativa las variaciones que presentan dos modelos de producción rural en cuanto a logro de una adecuada GIRH, a partir de la medición algunos comportamientos en el manejo de los recursos hídricos en zonas de transición del páramo, teniendo en la cuenta la baja disponibilidad de datos locales.
- ✓ El sistema de indicadores hídricos propuesto en este estudio, permiten definir algunos aspectos que otorgan mayor o menor desempeño al uso sustentable del recurso hídrico en los sistemas de producción agrícola rural del modelo convencional frente al modelo ecológico.

## 2. JUSTIFICACIÓN

La relación de la agricultura con el agua está enmarcada por la competencia establecida entre los diferentes usuarios del recurso. Además de grandes beneficios, como el incremento de la producción agrícola y el mejoramiento económico y social de la población rural. A raíz, de la creciente escasez relativa que presenta el recurso como resultado de diversos factores económicos y sociales, se ha puesto en marcha una nueva visión de la gestión del agua, incorporada a las políticas públicas casi en todos los países del mundo (FAO, 2013).

La PNGIRH en Colombia se presentó para un horizonte de 12 años (2010 a 2022), expone los principios generales y objetivos específicos respecto a la gestión sustentable y el desarrollo del recurso agua. Sus principios holísticos, el control descentralizado y el respeto por el ambiente se consideran elementos guía para enfrentar la emergente crisis global que concierne la escasez de agua, el deterioro de la calidad, los impactos de las inundaciones y de las sequías, y la creciente competencia por el agua (Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

De acuerdo con Sarandón et al., (2014), el concepto de la sustentabilidad es complejo en sí mismo porque pretende cumplir, en forma simultánea, con varios objetivos o dimensiones: productivas, ecológicas o ambientales, sociales, culturales, económicas y temporales. Es un concepto multidimensional. Teniendo en cuenta lo anterior, es necesario aplicar metodologías y criterios de evaluación novedosos, que se traduzcan en un análisis más objetivo y cuantificable, que permita detectar los aspectos críticos que impiden el logro de la sustentabilidad de los sistemas agropecuarios.

La presente investigación se realiza para aproximarse a evaluar el desempeño del sistema de indicadores hídricos propuesto, en dos sistemas de producción agrícola rural antagónicos de pequeña escala, a través, del desarrollo de un modelo a nivel exploratorio, que combina metodologías ampliamente reconocidas (HH, MESMIS e indicadores de sustentabilidad).

Se tomó como estudio de caso piloto dos unidades de producción agrícola rural en la vereda la Requilina. Lo anterior con el propósito de contribuir con una herramienta que pudiera aproximarse a valorar el uso sustentable del recurso hídrico, así mismo, que permita entender mejor algunos procesos exclusivos de este sector rural; por lo tanto contribuye, en parte, a la problemática relacionada con la ausencia de instrumentos que permitan diagnosticar la apropiación y el uso sustentable del agua dulce superficial en la actividad agrícola rural.

En términos sociales, esta información es de interés para todos aquellos productores que desarrollan la actividad agrícola, ya sea, de forma convencional, de transición (convencional hacia ecológica) y ecológica, ya que, la vereda, no posee este tipo de información, la cual puede ser tenida en cuenta para la toma de decisiones futuras frente al modelo agrícola a desarrollar de forma individual.

Así mismo, en términos culturales aporta a la validación de la agricultura ecológica, como modelo productivo viable, desde la sustentabilidad del recurso hídrico, ya que, puede fortalecer las prácticas de transición hacia modelos de producción ecológicos; desarrollados actualmente en algunas fincas, que a su vez, pertenecen a la ruta agroturística de la vereda la Requilina; la información permite la toma de decisiones sobre mantener o no el modelo de agricultura actual o retomar elementos del modelo tradicional campesino.

Los resultados y análisis aquí consignados pueden ser empleados por entidades académicas (Universidades) o entidades de orden ambiental con jurisdicción en la zona de estudio (Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria Distrital de Ambiente, Alcaldía Local de Usme, Consejo Local de Planeación de Usme, Junta Administradora Local de Usme) como línea base de información sobre indicadores hídricos en unidades agrícolas de producción convencional y/o ecológica a pequeña escala.

Por último, se considera importante contribuir con información primaria, sobre la evaluación del uso sustentable del recurso hídrico en la producción agrícola rural, la cual, facilita el diagnóstico, aplicación y consolidación de instrumentos, que pueden ser empleados en la práctica, cuando se cuentan con pocos datos (como ocurre con la zona de estudio), pero que, a su vez, se complementan con información de las instituciones competentes a nivel nacional y regional, así mismo, busca ser una herramienta piloto, que puede ser aplicada en otras zonas rurales de la misma localidad (corto y mediano plazo) y las demás zonas rurales del Distrito capital (largo plazo).

### 3. ESTADO DEL ARTE

La Gestión Integral del Recurso Hídrico - GIRH, fue definida por la Global Water Partnership como un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales (GWP, 2000).

La GIRH, es el soporte para que en el año 2010 el viceministerio de ambiente presentara en el PNGIRH, con el fin de garantizar la sostenibilidad del agua, entendiendo que su gestión se deriva del ciclo hidrológico y las múltiples interrelaciones entre los diferentes actores naturales y antrópicos. La propuesta se propuso para un horizonte de 12 años (hasta el año 2022), plantea: objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción para la gestión sociopolítica del agua en Colombia (Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

El Estudio Nacional del Agua elaborado por el Ministerio del Medio Ambiente y realizado por del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales IDEAM (2015), describe tanto los elementos de tipo conceptual como los metodológicos para la cuantificación de la demanda y oferta, además del uso del recurso hídrico del país. Dicha cuantificación está basada en el balance hídrico de las cuencas municipales y de todo el país, además las que sirven como suministro de agua, las que se encuentran contaminadas, las que cuentan con escases en su suministro, entre otras (El marco conceptual y metodológico para el Estudio Nacional del Agua versión 2014 soporta la evaluación de la situación actual y posibles escenarios futuros del agua en Colombia y tiene como referente base los conceptos y las metodologías del Estudio Nacional del Agua 2010, complementados con aquellos que constituyen temáticas nuevas del estudio).

Son varios los estudios realizados en Colombia desde el enfoque de Huella Hídrica, los más relevantes y retomados en esta investigación, ya que, permitieron orientar el cálculo de la huella hídrica, corresponden a los documentos técnicos: Una mirada a la agricultura de Colombia desde su huella hídrica (Arévalo, 2012) y Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia (IDEAM, 2015), así, como también, los trabajos de grado de Linares y Melo (2015) Evaluación de la huella hídrica del cultivo de fresa en una finca del municipio de Sibató-Cundinamarca y Peña y Torres (2015) Evaluación de la huella hídrica para el cultivo de palma de aceite en la finca villa Beatriz del municipio de zona bananera, departamento del Magdalena. Vale la pena aclarar que en el presente documento, no se evalúa la huella hídrica, los valores obtenidos son una parte de los insumos empleados para la construcción de un sistema de indicadores.

Así mismo, se tienen en cuenta algunas investigaciones del ámbito académico nacional y América Latina, los cuales se han desarrollado bajo la metodológica

MESMIS, utilizada para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales con énfasis en los pequeños agricultores y en su contexto local (Masera et al., 1999). Esta herramienta ha sido considerada como innovadora para enfrentar varios de los interrogantes planteados en el área de las evaluaciones de sustentabilidad. Sus aportes principales se han dado tanto en el ámbito teórico-metodológico como en la estructura del programa de investigación.

Bajo el modelo MESMIS, se conocen diferentes trabajos desarrollados en Centro y Sur América; entre los más destacados encontramos en México: Astier, Masera y Galván-Miyoshi (2008), así mismo, diferentes investigadores han desarrollado propuestas indicadores de sustentabilidad, empleando la metodología MESMIS, es así como entre otros, tenemos en Nicaragua: Arnés (2011); Argentina: Fontana (2015) y en Cuba: Silva y Ramírez (2017). Así mismo, en Colombia son varias las investigaciones desde el enfoque metodológico MESMIS, sin embargo, son pocas las investigaciones que se relacionan, con la evaluación de indicadores hídricos en sistemas agrícolas, por lo tanto, su objeto de estudio no se relaciona con el propuesto en este documento. Por lo tanto, solo se citan los que fueron retomados en alguno de los apartados del presente documento, y que permitieron plantear la metodología de diagnóstico para medir el uso sustentable del recurso hídrico es sistemas de producción agrícola de pequeña escala.

Cerón, Escobar y Trujillo (2011); diseñaron un modelo para el monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola en la microcuenca Centella (Dagua, Valle del Cauca), a partir de diferentes metodologías y proyectos enmarcados en la evaluación de la sostenibilidad de sistemas complejos; emplearon el Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sostenibilidad –MESMIS y el Enfoque de Presión- Estado-Respuesta – PER.

Fontana (2015), propuso evaluar de forma comparada la sustentabilidad de dos sistemas frutícolas del departamento de San Carlos – Mendoza, con diferente manejo, uno convencional y el otro en transición agroecológica, para aportar a la construcción de indicadores de sustentabilidad adaptados a la agricultura intensiva bajo riego. La metodología empleada fue el Marco de Evaluación de Sistemas de Manejo Incorporando Indicadores de Sustentabilidad (MESMIS), mediante el cual se definieron 20 indicadores a partir de la identificación de puntos críticos que en el caso del sistema convencional son la escasa biodiversidad y la alta dependencia de insumos externos y en el sistema en transición son el manejo ineficiente del agua y la dependencia de ingresos extraprediales. De acuerdo con la autora los dos sistemas pueden mejorar su nivel de sustentabilidad si se realiza un manejo agroecológico integral que contemple para el sistema en transición, mejorar la eficiencia en el uso del agua y replantearse la organización del sistema para generar mayores ingresos y posibilidades de inversión; y para el convencional, contemplar una mayor biodiversidad y disminuir la dependencia de insumos externos.

Bonilla y León (2016); desarrollaron su investigación en el municipio de Fomeque - Cundinamarca, establecieron indicadores ambientales asociados al recurso hídrico, utilizando la metodología MESMIS. El uso de indicadores permitió observar claras tendencias en la sostenibilidad general en los aspectos económicos, ecológicos y socioculturales.

Guzmán (2016): generó una propuesta metodológica para la formulación de indicadores sociales, técnicos, económicos y ambientales, para la medición de la sostenibilidad de pequeños sistemas de producción en caña panelera en el municipio de Sasaima vereda Pilaca. A través, de herramientas participativas como talleres y encuestas, se realizó un diagnóstico de las condiciones socioeconómicas de los productores de caña de la vereda, estableciendo las variables más representativas asociadas a las dimensiones sociales, ambientales, económicas y técnicas. Los indicadores con sus variables fueron evaluados con los productores y grupo de expertos, para luego establecer una matriz de indicadores que permita una evaluación futura de los sistemas productivos de caña panelera. Los indicadores de sostenibilidad desde el referente técnico, social, ambiental y económico; se priorizaron de acuerdo con el producto de la cosmovisión de los agricultores.

González (2017); aplicó la metodología MESMIS, muestra como la oferta, el manejo y la persistencia del recurso hídrico en unidades productivas campesinas es una apuesta que obliga a repensar la sostenibilidad ambiental en términos de la relación integralidad-sustentabilidad y calidad de vida.

Por último, tenemos los indicadores de sustentabilidad, que de acuerdo con Sarandón y Flores (2009) y Sarandón et al., (2014), proponen que la complejidad y la multidimensionalidad de la sustentabilidad, se debe representar de forma sencilla, en valores claros, objetivos y generales, conocidos como indicadores, así mismo, deberá permitir comprender perfectamente, sin ambigüedades los puntos, más críticos de la sustentabilidad de un ecosistema.

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo general

Evaluar la sustentabilidad del recurso hídrico desde el enfoque GIRH, de dos pequeñas unidades de producción agrícola rural antagónico (convencional y ecológico) de la vereda la Requilina de la localidad de Usme, mediante una propuesta metodológica exploratoria.

### 4.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar los comportamientos ambientales, socioculturales y económicos presentes en la producción agrícola rural local, a partir, de la tipificación de dos unidades en la zona de estudio.
- ✓ Establecer los aspectos funcionales que alteran las características del recurso hídrico durante un proceso de producción rural en las dos unidades de análisis, a través, del cálculo de la huella hídrica total.
- ✓ Proponer una metodología de evaluación, a través, de indicadores de sustentabilidad, basado en el método MESMIS.



## 5. MARCO DE REFERENCIA

### 5.1. Marco Teórico

#### 5.1.1. Desarrollo sustentable

Gallopín (2003) se refiere al desarrollo sostenible, *“la definición de desarrollo sostenible que se cita con mayor frecuencia es la propuesta por la Comisión de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, conocida también como Comisión Brundtland, en 1987 (CMMAD, 1987). En su informe de la Asamblea General de las Naciones Unidas titulado “Nuestro Futuro Común”, la Comisión definió el desarrollo sostenible como el ‘desarrollo que satisface las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras de satisfacer las propias’*. Sin embargo, Mebratu (1998) propone que, el concepto de desarrollo sostenible ha sido sujeto de varias interpretaciones y definiciones a lo largo de la historia, cobrando mucha importancia en los documentos de política de los gobiernos, los organismos internacionales y las organizaciones empresariales.

La sustentabilidad se ha basado en la actualidad de dos formas, la primera relacionada con los objetivos del desarrollo y la segunda basada en el impacto negativo sobre el medio ambiente, como consecuencia de las actividades humanas. Es decir, la discusión se centra en la sustentabilidad de tipo ecológico más que en las metas de un desarrollo social y económico de una sociedad (Cárdenas, 1998).

El concepto de sustentabilidad, ha sido discutido y enmarcado desde diferentes enfoques, sin embargo, en la presente investigación, es entendida como una sustentabilidad de tipo ecológica, Cárdenas (1998), la define como la capacidad de permanencia en el tiempo de un proceso que persiste gracias a la retroalimentación y en particular se refiere al uso de los recursos naturales, que pueden verse afectados por la degradación ambiental, para lo cual considera tres tipos:

- a) Agotamiento de la calidad o cantidad del recurso usado en el consumo o la producción de actividades.
- b) Contaminación o sobresaturación de la capacidad de la naturaleza de absorber y reciclar desechos llegando a un límite de quiebre, irreversibilidad del medioambiente.
- c) Reducción en la biodiversidad.

## 5.12 Uso sustentable del recurso hídrico

El agua es una parte esencial de cualquier economía y sociedad, por lo tanto su manejo sustentable es una condición necesaria para una economía y una sociedad sustentable. Sin duda, un componente muy fuerte en materia de sustentabilidad es el uso del agua con una explotación equilibrada de los componentes subterráneos y superficiales de agua dentro de una región hidrológica cuyos límites y potenciales pueden ser técnicamente conocidos (Cervera, 2007). Por otra parte García, Carreón y Quintero (2016), definieron que las diferentes dimensiones de gobernanza para la sostenibilidad hídrica pueden articularse bajo el principio de conservar hoy para consumir mañana.

Gleick (como se citó en Cervera, 2007) definió el uso sustentable del agua, como el uso de agua que permite sostener a una sociedad para que perdure y se desarrolle en un futuro indefinido sin alterar la integridad del ciclo hidrológico y de los ecosistemas que dependan de él; el concepto puede ser discutido como meramente filosófico (utópico) y arduo o imposible de alcanzar en la práctica. A pesar de esto, la aproximación a un posible estatus de sustentabilidad requiere del establecimiento de criterios orientados hacia los sistemas suministradores del recurso agua con el objetivo de ser considerados sustentables (p.11). Los siete criterios propuestos por Cervera (2007) se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Criterios para el uso sustentable del recurso hídrico

No	Criterios de Sustentabilidad
1	Diseño, manejo y operación de la infraestructura física
2	Calidad ambiental o salud de los ecosistemas
3	Mantener el agua en estándares de calidad de acuerdo a su uso
4	Contar con datos cualitativos y cuantitativos del agua
5	Desarrollar mecanismos institucionales para prevenir y resolver conflictos sobre el agua
6	Que las partes involucradas participen en los procesos de diseño y decisión
7	Las acciones humanas no deberán afectar las tasas de renovabilidad de las fuentes acuíferas y superficiales

Fuente: Elaboración propia con base en Cervera (2007)

Así mismo, el uso sostenible de los recursos hídricos requiere mantener la renovabilidad del recurso, así como también, la integridad de la flora, la fauna, y las sociedades humanas que se han desarrollado en este entorno. Por lo tanto en lugar de tratar de encontrar el agua adicional para cumplir con alguna proyección de deseos futuros, se debe de planificar para satisfacer las necesidades humanas y ecológicas actuales y futuras con el agua que está disponible, y así mismo, establecer qué necesidades se pueden satisfacerse dentro de los límites del recurso (Gleick, 1998).

La construcción de criterios que definen el concepto de uso sustentable del agua para el presente trabajo, se establece como la construcción conceptual basada en la teoría del desarrollo sustentable y ajustado en el presente documento de como:

el uso que permite sostener a una sociedad para que perdure y se desarrolle en un futuro indefinido sin alterar la integridad del ciclo hidrológico y de los ecosistemas que dependan de él (Gleick, 1998), así mismo, el criterio aquí propuesto para evaluar el uso sustentable del agua, corresponde al criterio número 4 (presentado en la tabla 1), el cual se adapta al problema de investigación, y por lo tanto, corresponde: a contar con datos cualitativos y cuantitativos, relacionados con el uso del agua durante el desarrollo de la actividad agrícola de un cultivo específico.

### **5.13. Enfoque de sistemas y sistema finca**

En el contexto histórico el concepto de sistema fue desarrollado en un principio en las ciencias biológicas hacia el año de 1925, sin embargo, fue solo hasta 1968 cuando el biólogo Ludwing Von Bertalanffy publicó su libro sobre la teoría general de sistemas. Aunque su teoría tiene una base dentro de la biología, ha influenciado a muchos científicos dentro de otras disciplinas (Hart, 1979).

La teoría general de los sistemas busca ante todo introducir un nuevo enfoque que permita la integración de diversas disciplinas que con el análisis de una situación en particular, que considere los aspectos biofísicos, socioculturales y económicos que hacen parte del escenario real de los sistemas de producción agrícola (Malagón y Prager, 2001).

De acuerdo con Malagón y Prager (2001), el sistema es un arreglo de componentes físicos organizados y relacionados en tal forma que constituyen y actúan como una unidad un todo y tiene un objetivo, adicionalmente las principales características son:

- ✓ Poseen componentes o partes: subsistemas.
- ✓ Tiene organización: hay un orden de arreglo de los subsistemas, que se encuentran en proporciones determinadas cumpliendo ciertos roles específicos.
- ✓ Tienen relación: los subsistemas se vinculan unos con otros, se complementan compiten entre sí, se transforman en elementos de uno a otro, se ajustan mutuamente.

El enfoque de sistemas ha sido revaluado desde hace ya varias décadas, dejando atrás la clasificación univariada, y contemplado una matriz de funciones multivariadas y de procesos múltiples que definen jerarquías y características particulares. En el análisis de sistemas productivos la caracterización proporciona información cualitativa y cuantitativa de las fincas consideradas en una muestra de estudio y esta técnica permite clasificar y tipificar a los productores en un territorio (Escobar y Berdegué, 1990).

La tipología de fincas es un procedimiento para diferenciar grupos por características socioeconómicas y biofísicas de los sistemas de producción (Carvajal y Anaya, 2014). De acuerdo con Kostrowick (como se citó en Bonilla y

León, 2016) una clasificación de sistemas de finca ayuda al conocimiento de la dinámica de desarrollo agrícola de una región, informa sobre la situación actual y puntual de las fincas en un período de tiempo determinado y brinda herramientas de análisis para evaluar comportamientos comunes de dinámicas socioeconómicas, permitiendo incluso priorizar programas de atención a las comunidades según los criterios de clasificación multivariado (Escobar y Berdegú, 1990).

Para Malagón y Prager (2001), una finca puede considerarse como un subsistema de una región. Los procesos físicos, bióticos y socio-económicos de la región forman el ambiente para un sistema de finca. Las otras fincas de la región son parte de estos procesos y por lo tanto también son parte del ambiente de una finca. Una finca siempre interactúa con los procesos físicos y bióticos de una región, pero hay casos de fincas con muy poca interacción con los procesos económicos de una región como es el caso de aquellas del tipo subsistencia.

A nivel de fincas la sustentabilidad implica el desarrollo de la capacidad de las comunidades rurales a través de sus sistemas productivos y sus agroecosistemas de mantener altos niveles de productividad agraria, bienestar social y calidad del ambiente, a través, del tiempo. Últimamente, en los territorios se implementan prácticas y estrategias que propenden por el buen manejo de los recursos naturales y que a nivel de sistemas productivos agrarios están articulados con procesos de certificación para el beneficio no solo ambiental de las fincas, sino económico de los productores, a través, del reconocimiento de un valor agregado por parte del mercado (Müller, 1996).

#### **5.14. Gestión Integral del Recurso Hídrico – GIRH**

La GIRH, es un concepto que ha surgido en la última década como respuesta a la crisis del agua (generada por la presión del crecimiento poblacional y la contaminación), que parte de asumir que las decisiones sobre cómo los recursos hídricos son protegidos, manejados, utilizados, asignados y conservados, son decisiones de gobierno, por lo cual se cree que la crisis del agua es en realidad una crisis de gobernabilidad. La Asociación Mundial del Agua definió la GIRH como un proceso que promueve la gestión y el aprovechamiento coordinado de los recursos hídricos, la tierra y los recursos naturales relacionados, con el fin de maximizar el bienestar social y económico de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas vitales. El enfoque de GIRH ayuda a administrar y desarrollar los recursos hídricos en forma sostenible y equilibrada, teniendo en cuenta los intereses sociales, económicos y ambientales (GWP, 2009).

De acuerdo con Dourojeanni, Jouravlev y Chávez (2002), la gestión integrada del agua puede ser entendida en cuatro sentidos: la integración de los componentes del agua o fases del ciclo hidrológico; la integración de la gestión del agua, de la

tierra y de otros recursos naturales y ecosistemas; la integración de los intereses de los diversos usos y usuarios del agua, con el objetivo de reducir los conflictos entre los que compiten por este recurso escaso, en cantidad, calidad y tiempo de ocurrencia y la integración de la gestión del agua en el desarrollo económico, social y ambiental.

La GIRH, constituye el paradigma actual de la gestión del agua a nivel mundial, haciéndose explícito en políticas *nacionales* para la gestión del agua a nivel global. Así mismo, busca orientar el desarrollo de políticas públicas en materia de recursos hídricos, a través, de una conciliación entre el desarrollo económico y social y la protección de los ecosistemas. Este concepto ha evolucionado pasando por diversas etapas de desarrollo, sin embargo, sigue pendiente la elaboración de una propuesta universalmente consensuada de definición y conceptualización. Este modelo de gestión del recurso agua implica tomar decisiones y manejar los recursos hídricos de forma tal que se consideren las necesidades y deseos de diferentes usuarios y partes interesadas. Se concentra en los intereses relativos al uso, control y preservación de los sistemas hídricos y su sustentabilidad (Valdés y Villalejo, 2017).

## 5.2. Marco Conceptual

### 5.2.1. Modelos de agricultura en Colombia

Durante los años 50 la agricultura campesina en nuestro país fue esencialmente orgánica (sin aditivos químicos), con muy baja incorporación de costos monetarios por unidad de producción en comparación con el modelo tecnológico vigente (Forero, 1999).

En Colombia en el periodo comprendido entre 1960 y 1978 se establece el modelo de Revolución Verde, transferido para este momento a gran parte del mundo, el principal objetivo se centró en el aumento de la productividad de los cultivos comerciales, dando lugar a un incremento en la superficie destinada a la agricultura, uso intensivo de maquinaria, plaguicidas y fertilizantes necesarios para alcanzar las productividades requeridas (León, 2007).

Durante la década de 1990 el concepto de agricultura se enmarcó en el paradigma del desarrollo sostenible, el cual hacía referencia a la creación de estrategias medioambientales para el manejo de los recursos naturales y el ambiente necesario para alcanzar un desarrollo económico y humano a largo plazo. Este concepto se hizo popular a través del documento nuestro futuro común elaborado por la comisión mundial del medio ambiente y desarrollo en el año de 1987.

Modelo de Agricultura Convencional: mucho tiempo los modelos de desarrollo desconocieron la importancia de los factores ambientales para el funcionamiento y mantenimiento del sistema económico y social. De hecho, se presumía que el medio ambiente era exógeno al sistema y que la disponibilidad de los recursos naturales no representaba ninguna restricción (Malagón y Prager, 2001).

La agricultura tradicional buscaba alimentar a la planta y no al suelo, buscando nutrir a la fuerza a cada planta con el fertilizante industrial del paquete tecnológico (semillas, fertilizantes, agroquímicos), en otras palabras, no veía a la agricultura como un sistema de relaciones entre medio biótico y abiótico (Carvajal y Anaya, 2008).

hacia mitad del siglo XX, en Estados Unidos se obtuvo un gran incremento en la producción agrícola, gracias a la tecnología química, la genética y la mecanización del agro, lo cual representó a corto plazo un gran incremento en la producción agrícola global durante este siglo, este cambio fue denominado revolución verde (RV). Este modelo se caracterizaba por la introducción de insumos externos, como fertilizantes, plaguicidas y herbicidas, desarrollo de híbrido y variedades de alto rendimiento, mecanización del trabajo y establecimiento de sistemas de monocultivos (León, 2007).

Modelo Agroecológico: los efectos generados por el modelo de la Revolución Verde establecidos hacia la mitad del siglo XX a nivel mundial, se caracterizaba por la introducción de insumos externos, como fertilizantes, plaguicidas y herbicidas, desarrollo de híbrido y variedades de alto rendimiento, mecanización

del trabajo y establecimiento de sistemas de monocultivos (León, 2007). Como respuesta a este modelo, surge la necesidad de proponer y establecer un nuevo modelo de agricultura conocido actualmente bajo el nombre de agroecología, también conocido como modelo ecológico o agricultura ecológica.

El modelo de la agroecología parte de una serie de premisas metodológicas para desarrollar, integrar y mejorar las prácticas que respondan a sus principios, es así, que se tiene un enfoque holístico y sistémico; una mirada multidisciplinaria, entendiendo que los sistemas sólo pueden entenderse, a través, de las perspectivas que aportan diferentes áreas del conocimiento; por último se debe incluir la investigación-acción participativa, donde los agricultores son sujetos y no sólo objetos del proceso de investigación (Guzmán, González y Sevilla, 2000).

Altieri (1999), reveló que en gran parte el crédito de la agricultura ecológica pertenece a Klages (1928), quien sugirió que se tomaran los factores fisiológicos y agronómicos que influían en la distribución y adaptación de las especies específicas de los cultivos para comprender la compleja relación existente entre una planta de cultivo y su medio ambiente, ya en 1942 expandió su definición incluyendo estos factores históricos, tecnológicos y socioeconómicos.

Los modelos de producción agroecológica son un enfoque del desarrollo rural sostenible; cuando el desarrollo no solo se refiere al conjunto de una sociedad, sino que se centra en las áreas rurales en las que se pretende mejorar el nivel de vida de su población, a través de procesos de participación local mediante la potenciación de recursos propios, este se define como Desarrollo Rural. Así mismo el Desarrollo Rural generado desde la agroecología, se basa en el descubrimiento, sistematización, análisis, y potenciación de estos elementos de resistencias locales al proceso de modernización, para a través de ellos, diseñar en forma participativa, esquemas de desarrollo definidos desde la propia identidad local (Guzmán et al., 2000).

La agroecología nace como una respuesta a la crisis ambiental y social generada por la modernización de la agricultura, encamina a una producción de alimentos racional en el uso de los bienes naturales, conllevando a una justicia social viable tanto en el campo de la producción como en el mercado. En este sentido se entiende la agroecología como un enfoque que orienta la agricultura hacia modelos más sustentables de producción, que transforma los sistemas productivos actuales causantes de la degradación social y ambiental. Estas aproximaciones permiten concluir que la agroecología corresponde a un enfoque teórico y metodológico multidisciplinario para la agricultura sustentable, que integra los conocimientos científicos y tradicionales de los agricultores en busca del mejoramiento de la productividad agropecuaria en agroecosistemas ambientalmente estables, da sustento económico a la familia rural, permite igualdad de acceso a recursos y oportunidades en el mercado, fortalece las formas locales de organización y participación campesina con el propósito de asegurar estilos de vida dignos para las familias, para las comunidades rurales y para la sociedad en general (Acevedo y Angarita, 2013).

Expuesto lo anterior vale la pena precisar que como se mencionó inicialmente en este apartado, los conceptos de agroecología, modelo ecológico o agricultura ecológica son equivalentes, en el presente documento se señala como agricultura ecológica básicamente porque así esta expresada en la regulación. En el país se viene practicando la *agricultura ecológica* desde la década de los 90 sin embargo, su reglamentación se dio inicialmente a través de la resolución 544 de 1995 y fue reemplazada posteriormente por la resolución 0074 del 2002, la cual establece los parámetros necesarios para las prácticas agrícolas amigables con el medio ambiente, lo cual incluye el mantenimiento apropiado del suelo, manejo fitosanitario, manejo apropiado de semillas y manejo post cosecha (Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, 2002).

## **5.2.2 Recurso hídrico en el contexto local**

La localidad de Usme cuenta con información de base muy importante, debido principalmente a su gran potencial como productora de agua y reserva acuífera para el distrito capital; algunos de los indicadores más representativos del recurso hídrico guardan relación con la calidad del agua y la disponibilidad y consumo del agua. Así mismo, en la localidad los cuerpos de agua más afectados por la contaminación son el río Tunjuelito y las quebradas Yomasa, Bolonia y Santa Librada (Alcaldía Local de Usme, 2017).

Por otra parte, del total de habitantes de la localidad de Usme (323.571 habitantes), tan solo 4.899 se ven beneficiadas por el servicio de acueducto, la demás población toma el agua de manantiales y con mangueras directamente en los cauces de las quebradas. Existen dos embalses en la Localidad, el de Chisacá y la Regadera que la surten de manera abundante agua que nace en la zona, por lo cual se considera que su integridad ecológica es alta. En virtud de las condiciones originales que predominan en los ecosistemas naturales presentes en la localidad, la existencia de un gran número de áreas en conservación, la fuerte irrigación de cuerpos corrientes de agua superficial, así como los embalses mencionados, la disponibilidad de agua en la zona rural de Usme se puede evaluar como alta (Secretaría Distrital de Ambiente, 2009).

De acuerdo con el Plan de manejo Ambiental-PMA para la vereda La Requilina propuesto por Sosa y Bonilla (2017), en la vereda se encuentran tres quebradas: Quebrada Agua Dulce, Quebrada Puente Tierra, Quebrada la Requilina, las cuales se originan en el páramo cruz verde.

La contaminación hídrica en la vereda la Requilina, se evidencia en las quebradas, se presenta principalmente por las actividades humanas, por ejemplo mal manejo de residuos sólidos, vertimientos puntuales de origen doméstico y animal. Adicionalmente la mayor parte de la contaminación presente en los cuerpos de agua proviene principalmente de las fincas que no están incluidas en la ruta agroturística, debido principalmente a que no realizan una gestión y disposición adecuada de los residuos generados, ya que, son vertidos directamente a las



fuentes hídricas con residuos de agroquímicos, detergentes, grasas y aguas residuales de origen doméstico. Vale la pena mencionar que los residuos provenientes de las actividades realizadas en las fincas de la ruta agroturística son utilizados para lombricultura en el caso de los residuos orgánicos y los residuos convencionales son aprovechados teniendo en cuenta la adecuada separación en la fuente (Sosa y Bonilla, 2017).

### **523. Alteración del recurso hídrico en sistemas agrícolas**

La agricultura es la actividad humana que hace un mayor uso del agua para consumo. Por lo tanto, el modelo de agricultura elegido, tendrá un gran impacto sobre este recurso. De alguna manera, la disponibilidad de agua de calidad, es una de las principales limitantes a la productividad de los cultivos a escala mundial (Sarandón et al., 2014).

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas - ONU, aproximadamente el 70% del agua extraída de los ríos, lagos y acuíferos, se utiliza para el riego y la agricultura; siendo la agricultura la forma de vida del 40% de la población mundial y el sector que más empleo produce en el mundo. Por lo tanto, es necesario realizar un uso sostenible del recurso hídrico en pro de garantizar un mayor acceso a los recursos y la satisfacción de las necesidades de la población; así mismo, la relación de la agricultura con el agua está enmarcada por la competencia establecida entre los diferentes usuarios del recurso, el desarrollo de la agricultura intensiva de riego ha acarreado impactos negativos, sobre todo en el medio ambiente. A raíz, de la creciente escasez relativa que presenta el recurso como resultado de diversos factores económicos y sociales, se ha puesto en marcha una nueva visión de la gestión del agua, incorporada a las políticas públicas casi en todos los países del mundo (FAO, 2013).

En los últimos años se han intensificado las actividades agrícolas, tanto en las explotaciones agrícolas industriales como en las tradicionales, lo que no solo aumenta la productividad agrícola, sino que también genera mayores cargas de contaminantes en el agua que afectan los ecosistemas y la salud humana. Al mismo tiempo, las industrias y ciudades están en expansión, lo que contribuye a aumentar la carga de contaminación que se incorpora al agua que se usa en la agricultura, con efectos perjudiciales para el sector (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization - UNESCO, 2017).

De acuerdo con Acevedo (2009), el recurso hídrico es fundamental en la producción agrícola, lograr conservar su producción natural (cantidad) y mantener sus propiedades originales (calidad), son una recurrente preocupación para los agricultores y para la población. Sobre el recurso hídrico generalmente las afectaciones son puntuales, cuando las explotaciones no son extensivas y los niveles tecnológicos son bajos en las fincas, por lo tanto, la disposición de residuos sólidos de envases de agroquímicos junto con los residuos líquidos

resultantes de las fumigaciones o del lavado de maquinarias de fumigación alteran significativamente la inocuidad de las aguas para el consumo animal y humano (Díaz, 2014).

## 524. Huella Hídrica

La huella hídrica, se establece como una herramienta de evaluación de la sostenibilidad de los recursos hídricos, utilizado para cuantificar el volumen total de agua utilizada por los habitantes de una determinada región. Su estudio a niveles geográficos inferiores y específicos permite conocer exactamente cuánta agua, y en qué condiciones, se utiliza de los sistemas de agua locales, y cuánta agua sería necesaria para contrarrestar las corrientes contaminadas (Fernández, Lastra y Tolón, 2013).

Así mismo, Hoekstra al et., (2011), definieron la huella hídrica como un indicador que pudiera mapear el consumo humano de agua dulce, la cual corresponde al volumen usado de agua para un proceso antrópico que no retorna a la cuenca de donde fue extraída o retorna con una calidad diferente a la original. La huella hídrica ofrece la posibilidad de un análisis multidimensional, espacial y temporalmente explícito, orientado a entender la interacción entre las actividades antrópicas y la relación del agua con la cuenca. La HHT tiene tres componentes, dos de ellos asociados a la cantidad de agua (verde y azul) y uno a la calidad del agua (gris) (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [IDEAM], 2015).

La HHT es una herramienta útil para caracterizar la demanda de agua requerida por sectores de alto consumo del recurso, por ejemplo el sector agrícola. Esta clase de estudios puede tener diversos fines y aplicarse en diferentes contextos, por lo tanto, es muy importante especificar los aspectos de interés en particular (Hoekstra al et., 2011). A continuación en la tabla 2., se presentan las categorías de la HH.

Tabla 2. Categorías de la Huella Hídrica

Categoría	Descripción
Huella hídrica verde	Es un indicador del uso humano del agua conocida como verde, que se refiere a la precipitación sobre la tierra que no provoque escorrentía, es decir que no se una a las agua subterráneas, pero que se mantienen en el suelo, superficie y vegetación. Finalmente, esta es la precipitación que se evaporara o que traspiran las plantas.
Huella hídrica azul	Hace referencia al volumen de agua captada de fuentes superficiales o subterráneas para cubrir la demanda de agua no satisfecha a causa de un déficit en la disponibilidad de agua procedente de la lluvia, es la cantidad de agua disponible en determinado periodo que se consume y que no se devuelve a la misma cuenca hídrica.
Huella Hídrica Gris	Muestra la capacidad de asimilación de desechos y representa la cantidad de agua que se requiere para asimilar residuos o cargas de contaminantes comparado con las concentraciones normales, a partir de la cuantificación de agua necesaria para diluir dichos contaminantes hasta el punto de que la calidad del agua ambiental se mantenga dentro de la normatividad vigente de calidad del

	agua.
Huella Hídrica Total	Posee tres categorías, dos de ellas asociadas a la cantidad de agua (Huella Hídrica Verde y Huella Hídrica Azul) y la última asociada a la calidad del agua (Huella Hídrica Gris).

Fuente: Elaboración propia con base en Hoekstra et al., (2011)

#### 5.2.4.1. CropWat 8.0 para windows

El software libre CropWat 8.0 para Windows, es un programa que utiliza el método de la FAO Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración de los cultivos (ET) es un programa de computación que puede ser usado para el cálculo de los requerimientos de agua de los cultivos y de sus requerimientos de riego con base a datos climáticos y de cultivos, ya sean existentes o nuevos (FAO, 2013).

Este software puede ser utilizado cuando no se dispone de la totalidad de los datos locales, ya que incluye datos para diferentes cultivos; cuando se cuenta con datos locales, estos pueden ser modificados o creados. El suministro de agua se calcula de acuerdo con el patrón de cultivo definido por el usuario, que pueden incluir hasta 20 cultivos (FAO, 2013).

### **525. Marco para la Evaluación de Sistemas de Manejo de Recursos Naturales incorporando Indicadores de Sustentabilidad – MESMIS**

El modelo MESMIS es una herramienta metodológica para evaluar la sostenibilidad de los sistemas de manejo de recursos naturales con énfasis en los pequeños agricultores y en su contexto local, este modelo metodológico propone seis atributos o conjuntos de atributos para la sustentabilidad, que brinda el marco coherente e integral para hacer operativo el análisis (Maser et al., 1999).

Así mismo, una de las características de la metodología MESMIS, es que considera que la evaluación es válida para sistemas de manejo en un determinado lugar geográfico, una escala espacial (por ejemplo, parcela, unidad de producción, comunidad, etc.), y para un determinado periodo de tiempo (Bonilla y León, 2016).

La metodología MESMIS presenta un enfoque sistémico, las dimensiones de evaluación que puede llegar a involucran son ambiental, económico y social, el tipo de evaluación ex antes y ex post, la integración de los indicadores se realiza, a través, de modelos gráficos (Astier et al., 2008)

Son varios los autores que han presentado las fases en las cuales se desarrolla el modelo MESMIS, por lo tanto a continuación, se presenta las fases propuestas y desarrolladas por diferentes autores como Fontana (2015), las cuales se complementan con algunos conceptos de Acevedo y Angarita (2013), Bonilla y León (2016) y Sarandón et al., (2014). Se presenta a continuación en la tabla 3.

Tabla 3. Fases del modelo MESMIS

Fases	Descripción
Determinación del objeto de estudio	Involucra la caracterización de los sistemas en su contexto socio-ambiental.
Identificación de los puntos críticos del sistema	Se relaciona con los aspectos que generan alteraciones positivas o negativas para las sustentabilidad de los sistemas de análisis.
Selección y propuesta de indicadores	Identificación de los criterios relacionados con sustentabilidad, en este caso específicamente con el uso de acuerdo con el criterio de uso sustentable del recurso hídrico establecido previamente.
Medición de los indicadores	Se definen los instrumentos para la medición de los indicadores propuesto. Las mediciones pueden ser directas, indirectas, a través, de revisión bibliográfica, establecimiento de experimentos, modelos de simulación u otros.
Integración de resultados	Permite comparar la sustentabilidad de los sistemas de análisis, presentando las principales limitaciones y/o ventajas para la sustentabilidad. La idea de lograr la simplificación de la realidad compleja, exige que los resultados sean expresados de manera sencilla y clara.
Conclusiones y recomendaciones	Se elaboran las recomendaciones para fortalecer la sustentabilidad de los sistemas de manejo.

Fuente: Elaboración propia con base en Sarandón et al (2014), Fontana (2015) y Bonilla y León (2016)

### 526. Medición y evaluación del uso sustentable del agua

No existen parámetros ni criterios universales o comunes para evaluar la sustentabilidad, tampoco han sido desarrolladas herramientas y/o metodologías apropiadas para ello; adicionalmente no existe un valor de sustentabilidad definitivo contra el cual comparar Así como tampoco, la definición de que, por qué y para que evaluar (Sarandón y Flores, 2009).

Para poder avanzar, es necesaria que la complejidad y la multidimensional de la sustentabilidad sean simplificadas en valores claros, objetivos y generales, conocidos como indicadores. De acuerdo con Sarandón y Flores (2009), existen algunas aplicaciones del desarrollo de indicadores en el área agropecuaria, por ejemplo comparar diferentes sistemas de producción.

Una forma de medir el uso sustentable del agua puede ser a partir del desarrollo de indicadores que reflejen la interacción entre la sociedad y el recurso. Los indicadores proveen de información comprensiva acerca de los sistemas que dan forma al desarrollo sustentable, y son necesarios para guiar políticas y ayudar en la toma de decisiones en los diferentes niveles de la sociedad (Bossel, 1999).

### 527. Evaluación comparada

En la investigación comparativa, se tiene como propósito identificar diferencias o semejanzas, frente a un evento en dos o más contextos, grupos o situaciones; así mismo, la comparación es posible, gracias a que existe una relación de analogía entre diversas realidades (Hurtado, 2002). De acuerdo con Bravo (como se citó en

Hurtado, 2002) la investigación comparada se compone de 3 elementos. Se presenta a continuación en la tabla 4.

Tabla 4. Elementos de la investigación comparada

<b>Elementos</b>	<b>Descripción</b>
Realidad que se compara	Se propone un patrón de referencia
Fundamento de comparación	Establecer los criterios en los cuales se basa la comparación
Diferencias y/o Semejanzas	Proceso de comparación entre las realidades

Fuente: El autor con base en Hurtado (2002)

Así mismo, Sarandón (1999), indica que la evaluación comparativa es la más común y sencilla, ya que, puede dar respuesta a preguntas tales como cuál de estos dos sistemas o tecnologías, son más sustentables?; por lo tanto, la respuesta esperada es: esto es más o menos sustentable que aquello, en otras palabras solo se quiere conocer cuál de los dos sistemas es mejor que el otro en relación con un aspecto específico. Existen dos tipos de evaluación, la retrospectiva evalúa que pasó, que tipo de sistema ha sido mejor o que práctica ha sido la mejor. Adicionalmente la evaluación comparativa es una de las formas más comunes de medir la sustentabilidad, permite determinar cuál de las unidades de análisis es mejor, o más sustentable (Acevedo y Angarita, 2014).

### 5.3. Marco Institucional de la Gestión del Agua en Colombia

#### 5.3.1. Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico - PNGIRH

La GIRH es un concepto basado en la idea de que los diferentes usos del recurso son excluyentes e interdependientes, surgió como respuesta a la “crisis del agua” expresada en la presión insostenible sobre el recurso hídrico, debida a la creciente demanda de agua, la contaminación y el crecimiento demográfico. Sin embargo, se ha observado que el núcleo del problema está en la inadecuada gestión y gobernabilidad del recurso. La gestión integral del recurso hídrico busca actuar sobre las causas de esta gestión deficiente como son la ineficiencia, los conflictos crecientes y el uso no coordinado del este recurso (Ministerio del Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

La PNGIRH, establece los objetivos, estrategias, metas, indicadores y líneas de acción estratégica para el manejo del recurso hídrico en el país, en un horizonte de 12 años (2010 a 2022), contiene ocho principios y contempla seis objetivos, los cuales se presentan en la tabla 5 y la tabla 6 respectivamente

Tabla 5. Principios de la PNGIRH

Principios de PNGIRH	Descripción
Bien de uso público	El agua es un bien de uso público y su conservación es responsabilidad de todos
Uso prioritario	El acceso al agua para consumo humano y doméstico tendrá prioridad sobre cualquier otro uso y en consecuencia se considera un fin fundamental del Estado. Además, los usos colectivos tendrán prioridad sobre los usos particulares
Factor de desarrollo	El agua se considera un recurso estratégico para el desarrollo social, cultural y económico del país por su contribución a la vida, a la salud, al bienestar, a la seguridad alimentaria y al mantenimiento y funcionamiento de los ecosistemas
Integralidad y diversidad	La gestión integral del recurso hídrico armoniza los procesos locales, regionales y nacionales y reconoce la diversidad territorial, eco sistémico, étnico y cultural del país, las necesidades de las poblaciones vulnerables (niños, adultos mayores, minorías étnicas), e incorpora el enfoque de género
Unidad de gestión	La cuenca hidrográfica es la unidad fundamental para la planificación y gestión integral descentralizada del patrimonio hídrico
Ahorro y uso eficiente	El agua dulce se considera un recurso escaso y por lo tanto, su uso será racional y se basará en el ahorro y uso eficiente.
Participación y equidad	La gestión del agua se orientará bajo un enfoque participativo y multisectorial, incluyendo a entidades públicas, sectores productivos.
Información e investigación	El acceso a la información y la investigación son fundamentales para la gestión integral del recurso hídrico.

Fuente: Elaboración propia con base en la PNGIRH (2010)

Tabla 6. Objetivos de la PNGIRH

Objetivos de PNGIRH	Descripción
Oferta	Conservar los sistemas naturales y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua para el país, para el cumplimiento de este objetivo se han diseñado tres estrategias: conocimiento, planificación y conservación de los ecosistemas y los procesos hidrológicos de los cuales depende la oferta hídrica nacional.
Demanda	Caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua de acuerdo a las necesidades de la finca, para dar cumplimiento a este objetivo se han diseñado cuatro estrategias: caracterización y cuantificación de la demanda de agua en cuencas priorizadas, fomento a la gestión integral del recurso hídrico en los principales sectores usuarios del agua, y uso eficiente y sostenible del agua.
Calidad	Mejorar la calidad y minimizar la contaminación del recurso hídrico; para dar cumplimiento a este objetivo se han diseñado tres estrategias: ordenamiento y reglamentación de usos del recurso, reducción de la contaminación del recurso hídrico, monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua.
Riesgo	Desarrollar la gestión integral de los riesgos asociados a la oferta y disponibilidad el agua, para dar cumplimiento al objetivo se han diseñado tres estrategias: generación y divulgación de información y conocimiento sobre riesgos que afecten la oferta y disponibilidad hídrica, incorporación de la gestión de los riesgos asociados a la disponibilidad y oferta del recurso hídrico en los instrumentos de planificación y, medidas de mitigación y adaptación para la reducción de los riesgos asociados a la oferta hídrica resultantes de los fenómenos de variabilidad climática y cambio climático.
Fortalecimiento Institucional	Generar las condiciones para el fortalecimiento institucional en la gestión integral del recurso hídrico para dar cumplimiento al objetivo se han diseñado tres estrategias que son el mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico; formación, investigación y gestión de la información y la revisión normativa y articulación con otras políticas y sostenibilidad financiera.
Gobernanza	Consolidar y fortalecer la gobernabilidad para la gestión integral del recurso hídrico; para dar cumplimiento al objetivo se han diseñado tres estrategias que son participación, cultura del agua, y manejo de conflictos.

Fuente: Elaboración propia con base en la PNGIRH (2010)

### 5.3.2 Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico - PORH

La elaboración del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico – PORH, es el resultado del diagnóstico; en el cual se propone un proceso de planificación con base en los aspectos propuestos en el numeral 4 del artículo 8 del Decreto 3930 de 2010 (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible, 2010), que se describen en la tabla 7., el cual es competencia la Autoridad Ambiental, debe contribuir al control de la contaminación y al uso eficiente del recurso hídrico superficial en el país. De acuerdo con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible (2014) este plan, se elabora para un periodo de mínimo diez años, debe garantizar la administración y el manejo de la cantidad, la calidad y el uso del agua, considerando aspectos como el riesgo al desabastecimiento.

Tabla 7. Aspectos del PORH

Aspecto	Descripción
1	Clasificación del cuerpo de agua en ordenamiento
2	Inventario de usuarios
3	Uso a conceder
4	Criterios de calidad para cada uso
5	Objetivos de calidad a alcanzar a corto, mediano y largo plazo
6	Metas quinquenales de reducción de cargas contaminantes de acuerdo con la normatividad vigente.
7	Articulación con el Plan de Ordenación de Cuencas Hidrográficas (en caso de existir) y el programa de seguimiento y monitoreo del Plan de Ordenamiento del Recurso Hídrico

Fuente: Elaboración propia con base en PORH (2014)



## **6. METODOLOGÍA**

### **6.1. Enfoque metodológico**

La investigación desarrollada es de tipo descriptiva, tiene como objetivo lograr la descripción o caracterización del evento de estudio dentro de un contexto particular (Hernández, Fernández y Batista, 2003). Los estudios descriptivos son aquellos que buscan especificar las propiedades importantes de grupos, comunidades, objetos o cualquier otro evento, se realiza cuando la experiencia y la exploración previa indica que no existen descriptores precisos del evento en estudio, los descriptores son insuficientes, la aparición de un nuevo contexto, aparición de nuevas tecnologías de medición entre otras; también corresponde a una investigación comparativa, la cual, tiene por objeto lograr la identificación de diferencias y/o semejanzas con relación a un evento en dos o más contextos. La comparación es posible porque existe una relación de analogías (Hurtado, 2000).

#### **6.1.1. Estudio de caso**

De acuerdo con Hernández et al, (2003) el estudio de caso es una investigación que, mediante los procesos cuantitativo, cualitativo y/o mixto; analiza profundamente una unidad integral para responder al planteamiento del problema, prueba hipótesis y desarrolla teorías. La presente investigación corresponde a un ejercicio basado en el estudio de caso, la zona de estudio corresponde a la cuenca media del río Tunjuelo hace parte del área rural del Distrito y va desde el embalse La Regadera hasta el área denominada Zona de Canteras. Forma parte de las localidades de Ciudad Bolívar y Usme y posee un área total de 10.797,92 ha (EPAM S.A. y EAAB, 2014). Las dos unidades de observación se ubican geográficamente en la vereda la Requilina (figura 1), las características generales de las unidades de estudio se presentan en la tabla 8, el registro fotográfico de las unidades de estudio puede ser consultado en el anexo A.

### **6.2. Estrategia de investigación**

El objetivo principal de la investigación, fue proponer un modelo metodológico exploratorio, que integra los enfoques conceptuales de HH, MESMIS y el uso de indicadores de sustentabilidad planteados, con el propósito de evaluar el uso sustentable del recurso hídrico, en dos sistemas de producción rural antagónicos de pequeña escala, a nivel de subcuenca. Por lo tanto, esto generó que la investigación sea de tipo cualitativo y cuantitativo, y que articule metodologías de ambos principios; para de esta forma lograr dar cumplimiento a los objetivos propuestos y dar respuesta a las preguntas de investigación.

### 6.3. Localización del área de estudio

Tabla 8. Localización y generalidades de las unidades de estudio

Características	Finca Convencional	Finca Ecológica
Nombre de la finca	El Triunfo II	El Triunfo I
Coordenadas	N:04°28'35.8`` y W: 074°06'50.5``	N:04° 28' 33.2`` y W: 074°06' 50.7``
Altitud	2782 m	2800 m
Área Total	11.000 m <sup>2</sup>	11.000 m <sup>2</sup>
Uso de la finca	Producción agrícola para comercializar; sin vivienda principal, terreno para agricultura, predio en sociedad.	Producción agrícola de subsistencia (20%) y comercialización (80%), de tipo familiar, propietarios.

Fuente: El estudio con base en el trabajo de campo (2016)

Figura 1. Imagen área de estudio



### 6.4. Ruta metodológica

De acuerdo con Alfonso (2002), el desarrollo de la investigación como estrategia, parte de los planteamientos teóricos, que orientan la metodología de recolección de información, así como, facilita el posterior análisis e interpretación de los datos obtenidos. Para dar inicio al proceso investigativo se consultó información secundaria (documentos institucionales, documentos técnicos, normativa institucional nacional, artículos de revistas, tesis de pregrado, tesis de maestría y libros), que permitió la discusión conceptual así mismo, con el propósito de indagar sobre metodologías actualizadas y similares a la presentada en el

presente documento, se consultó en dos bases de datos especializadas de libre acceso (scielo y redalyc), teniendo en cuenta las siguientes condiciones: temporalmente 10 años (2007 a 2017), espacialmente a Latinoamérica y el Caribe, la búsqueda se realizó con palabras clave, que se relaciona con las metodologías de evaluación para determinar el uso sustentable del recurso hídrico, vale la pena aclarar ,que no se obtuvo un resultado nutrido (10 artículos) y además no todos los artículos se tuvieron en cuenta para el presente documento, ya que, no se encontró relación directa con el objeto de estudio y la metodología propuesta (tabla 9).

Tabla 9: Matriz síntesis consulta en base de datos especializadas

Base de datos	Palabra Clave	Título	País	Año
Scielo	Sustentabilidad hídrica	Applying a sustainability index to the japatubá river watershed in sergipe state	Brasil	2017
Scielo		Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile.	Chile	2012
Scielo		Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica.	Colombia	2017
Scielo		La región hídrica de Bogotá	Colombia	2013
Redalyc		Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia	Colombia	2012
Scielo		La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos.	México	2016
Redalyc		Sustentabilidad del agua en la agricultura Uso sustentable del agua	Dimensiones de gobernanza para la sustentabilidad hídrica	México
Scielo	El Programa de Cultura del Agua en el noreste de México. ¿Concepto utilitario, herramienta sustentable o requisito administrativo?		México	2011
Scielo	Evaluación de la sustentabilidad del agua	Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura	México	2016
Scielo	Evaluación de la sustentabilidad del agua	Indicadores de uso sustentable del agua en Ciudad Juárez, Chihuahua	México	2007

Fuente: Elaboración propia con base en las bases datos consultadas

La descripción de la zona de estudio se realizó, a través, de la consulta y recopilación de información secundaria, información no superior a 10 años, excepto para las características biofísicas, para lo cual, se emplea como fuente de información el estudio general de suelos y zonificación de tierras departamento de Cundinamarca (IGAC, 2000). La información se sintetizó, a través, de fichas técnicas teniendo en cuenta las siguientes tres (3) categorías de información:

características biofísicas, características socioeconómicas, y características socioculturales. Las tablas pueden ser consultadas en el anexo B.

Es importante aclarar, que una de las principales limitantes fue la disponibilidad de información, así como también, la posibilidad de entrevistar al productor, ya que, actualmente en la vereda solo existen 11 fincas que desarrollan la actividad agrícola, a través, del modelo ecológico. En consecuencia la selección de las unidades de estudio cumple con:

- ✓ Estar ubicadas en el mismo espacio funcional, garantizando homogeneidad geográfica en la evaluación (vereda La Requilina de la localidad de Usme - Bogotá).
- ✓ Desarrollar la misma actividad productiva (agricultura) pero con distinto modelo de producción (convencional y ecológico).
- ✓ Lograr una adecuada disposición de información en relación a los esquemas de decisión productiva con apoyo en información secundaria y de campo.

## **6.5. Instrumentos metodológicos**

### **6.5.1. Instrumentos metodológicos del objetivo 1**

#### a) Encuestas y entrevistas estructuradas

Para establecer la tipificación de fincas, se diseñaron encuestas y entrevistas estructuradas tipo lista de chequeo, teniendo en cuenta aspectos de estructura y función de acuerdo con lo propuesto por Malagón y Prager (2001), las cuales fueron aplicadas en campo al productor durante el último trimestre del año 2016). Consultar anexo D.

#### b) Matriz de Caracterización

Para cada una de las fincas de producción, finca de agricultura convencional y finca de agricultura ecológica, se generó, una matriz síntesis de caracterización, que se presenta solo para la unidad agrícola, se tuvo en cuenta componentes, socio-culturales, económicos y ecológicos. Lo anterior puede contribuir a la descripción de unidades productivas de la zona de estudio, ya que, a través, de la información de campo se logra establecer una realidad puntual y a futuro comparar la proximidad que puede ocurrir en términos generales con otras fincas que se dediquen a la actividad agrícola, ya sea de forma convencional o ecológica.

Las variables evaluadas se determinaron con base en los componentes de producción, tales como factores socio-cultural (componente familiar y fuerzas de trabajo); factores económicos (maquinaria, insumos, mano de obra, comercialización) y factores ecológicos (antecedentes ambientales, recurso suelo, recurso hídrico etc.).

## 6.5.2. Instrumentos metodológicos del objetivo 2

### a) Entrevistas Estructuradas

Caracterización del recurso hídrico: se aplicaron entrevistas estructuras tipo lista de chequeo en campo al productor, las cuales incluyeron identificación, requerimientos, fuentes y aprovechamientos de agua para cada una de las actividades desarrolladas durante la actividad agrícola. Consultar anexo D.

### b) Diagramas de Flujo

Las entrevistas junto con la observación de campo, permiten establecer los diagramas de flujo de las dos unidades en estudio; el diagrama representa cada una de las actividades desarrolladas durante la actividad agrícola y su relación con una o más de las categorías de la huella hídrica, que son generadas durante la totalidad del ciclo productivo.

### c) Cálculo de Huella Hídrica

Para su cálculo se toma como referencia el marco metodológico propuesto por la Red Internacional de Huella Hídrica (Hoekstra et al., 2011).

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Sostenible (2014), la huella hídrica total tiene tres categorías, dos de ellas asociados a la cantidad de agua (HHV y HHA y la última asociado a la calidad del agua (Huella Hídrica Gris). Para realizar el cálculo de cada una de las tres categorías, se emplearon dos fuentes de información, datos climatológicos (IDEAM) en documentos técnicos y datos recolectados en campo relacionados con información específica del cultivo; posteriormente los datos climatológicos se modelan en el software cropwat 8.0 de la FAO (2013).

Bases de datos institucionales y documentos técnicos: corresponde a el promedio climatológico (1981-2010) del IDEAM y el estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo (IDEAM, 2011), sin embargo, no todas las estaciones cuentan con la totalidad de los datos en los registros motivo por el cual, se seleccionaron los registros que están completos, que en este caso es la de la estación Los tanques, (se escoge la elevación; para los datos de velocidad del viento se empleó los registros de la estación Aeropuerto el dorado (es la única estación que cuenta con este registro), para la precipitación se emplearon los datos de la estación Santa María de Usme, ya que, es la más cercana al área de estudio, presenta una elevación muy similar con las unidades de análisis haciendo que los datos sean representativos para los cálculos. Estos datos son empleados para alimentar el software cropwat 8.0, los cuales posteriormente arrojan algunos resultados que se requieren para realizar el calcular de las diferentes categorías. Los datos se presentan en el anexo E.

Los datos generales para cada una de las estaciones que las cuales fueron empleadas como fuentes de información (tabla 10.), así mismo, se presentan las

ecuaciones para el cálculo de la huella hídrica total y sus tres componentes (tabla 11).

Tabla 10. Características generales de las estaciones meteorológicas

Estación meteorológica	Latitud	Longitud	Elevación	Parámetro	Fuente de información
Aeropuerto el Dorado	04°42'20,1"N	74°9'2.4",W	2547 m	Velocidad del viento	Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo (2011).
Santa María de Usme	04°28'52,7"N	74°7'34,6"W	2800 m	Precipitación	Promedio climatológico (1981-2010) del IDEAM
Los tanques	04°11'48,0"N	74°11'27.4" W	3150 m	Temperatura, Humedad relativa y Brillo Solar	Promedio climatológico (1981-2010) del IDEAM

Fuente. Elaboración propia con base en documentos técnicos del IDEAM (2011)

Tabla 11. Ecuaciones de cálculo huella hídrica total y sus tres categorías

COMPONENTES HUELLA HÍDRICA	ECUACIÓN DE CALCULO
Huella Hídrica Azul	$HHA = \frac{CWU_{riego} \cdot m}{Y \cdot \text{Ton/m}^2}$ <p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <math>CWU_{riego}</math>: corresponde a la cantidad de agua que debe ser suministrada a la planta para compensar las pérdidas provocadas por evapotranspiración (se obtiene a través de la modelación con el software cropwat 8.0.).</li> <li>✓ Rendimiento del cultivo (Y): para calcular el rendimiento del cultivo de arveja, se tiene en cuenta la información de campo; se realiza una siembra al año que produce aproximadamente 4000 kg en un área total de 10000 m<sup>2</sup>; los cálculos se presentan en el anexo V.</li> </ul>
Huella Hídrica Verde	$HHV = \frac{Pef \cdot m}{Y \cdot (\text{ton/m}^2)}$ <p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Precipitación efectiva (<math>Pef</math>): este valor se obtuvo a través de la modelación en el software cropwat 8.0 en mm (figura 4.) (ver anexo IV).</li> <li>✓ Y: Rendimiento del cultivo</li> </ul>
Huella Hídrica Gris	$HHG = \frac{(\alpha \times AR)}{Y \cdot (\text{Ton/m}^2)} \cdot m$ <p>Dónde:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ <math>\alpha</math>: fracción de lixiviados, representa la parte de las sustancias químicas aplicadas a los cultivos que se infiltran y percolan hasta llegar a los cuerpos de agua dulce. No se cuenta con datos específicos sobre el porcentaje de lixiviación que llegan al agua dulce, por lo tanto se usa el valor empleado por Hoekstra (2011), para todos los fertilizantes que corresponde al 10%.</li> <li>✓ AR: cantidad de agroquímicos aplicados por hectárea kg/ha</li> </ul>

	✓ $C_{nat} = 0$ ✓ $Y =$ rendimiento del cultivo
Huella Hídrica Total	$HHT = HHV + HHA + HHG \text{ m}^3/\text{ton}$ Dónde: HHV: Huella Hídrica Verde HHA: Huella Hídrica Azul HHG: Huella Hídrica Gris

Fuente: El autor con base en metodología de Huella Hídrica propuesta por Hoekstra et al., (2011)

### 6.5.3. Instrumentos metodológicos del objetivo 3

La propuesta metodológica exploratoria, para evaluar el uso sustentable del recurso hídrico, involucró el diseño de un modelo conceptual, que incluyó la definición del sistema de indicadores, niveles de sustentabilidad del recurso hídrico e interpretación de los mismos. Posteriormente se construyeron tablas de referencia que presentan la medición de los indicadores, en un rango de cero, siendo este el valor menos sustentable y cuatro el máximo valor y por lo tanto el que representa el nivel más alto de sustentabilidad.

La metodología MESMIS, empleada como uno de los antecedente principales de este trabajo, es un proceso de evaluación de sustentabilidad cíclico, con un enfoque participativo, sistémico y multiescalar, validado mediante estudios de caso, que tiene como meta fundamental aportar elementos concluyentes para mejorar los agroecosistemas y entender de manera integral las limitantes y posibilidades para la sustentabilidad de los mismos. Además, presenta una estructura flexible para adaptarse a diferentes niveles de información y capacidades técnicas disponibles localmente (Astier et al, 2008). Adicionalmente, se tiene en cuenta el uso de indicadores de sustentabilidad planteados por Sarandón y Flores (2009) y Sarandón et al., (2014).

La metodología MESMIS, se desarrolló, a través, de las seis etapas descritas por Fontana (2015), como se describen a continuación:

a) Determinación del objeto de estudio

Involucra la caracterización de los sistemas en su contexto socio-ambiental, se desarrolló, en el apartado metodológico del objetivo 1.

b) Identificación de los puntos críticos del sistema

Se relacionan con los aspectos que generan alteraciones negativas que no favorecen el uso sustentable del recurso hídrico en términos de cantidad y de calidad, se determinan, a través, de la diagramación y cuantificación de la huella hídrica total y sus tres categorías; presentado en el apartado metodológico del objetivo 2.

c) Selección y propuesta de indicadores

De acuerdo con International Network of Basin Organization (INBO, 2009); el monitoreo de la gestión de cuencas hidrográficas, a través, de indicadores es un proceso que proporciona información para ayudar a la planificación, desarrollo y gestión de los recursos hídricos.

La propuesta del sistema de indicadores para evaluar el uso sustentable del recurso hídrico, se formula a partir de los 6 objetivos de la PNGIRH. Por lo tanto, se propone un sistema de indicadores hídricos, que evalúa la categoría funcional que corresponde a los objetivos de oferta, demanda, calidad riesgo y la categoría político e institucional que corresponde a los objetivos de fortaleza institucional y gobernanza (tabla 12).

Tabla 12. Propuesta y descripción de indicadores

Objetivos de PNGIRH	Categoría de análisis	Nombre del indicador/ Abreviatura	Descripción del indicador
Oferta	Funcional	Índice de Oferta (IO)	Oferta hídrica de la zona de estudio (cantidad disponible a partir de las condiciones hidroclimáticas).
Demanda		Índice de Demanda (ID)	Demanda hídrica del cultivo de acuerdo con la época de siembra.
Calidad		Índice de Calidad del Agua (ICA)	Cantidad de insumos adicionados (insumos químicos y/o bioinsumos), que alteran la calidad del agua.
Riesgo		Índice de Riesgo (IR)	Cantidad de agua dulce empleada para el cultivo que no retorna a la cuenca, con la condiciones de calidad inicial.
Fortalecimiento Institucional	Político e Institucional	Índice de Fortalecimiento Institucional (IFI)	Cumplimiento de las líneas de acción propuestas en la PNGIRH
Gobernanza		Índice de Gobernanza (IG)	Cumplimiento de las líneas de acción propuestas en la PNGIRH

Fuente. Elaboración propia con base en PNGIRH (2010)

Sarandón et al., (2014), explica que la información necesaria para la construcción de indicadores es muy variada, depende de innumerables factores, disponibilidad de recursos, objetivos planteados y de la escala temporal y espacial adoptada; esta información puede obtenerse mediante encuestas o entrevistas, por revisión de datos de campo y/o análisis de laboratorio y/o recopilación de análisis bibliográfico; así mismo, Bonilla y León (2016), sugieren que las mediciones pueden ser directas o indirectas, a través, de revisión bibliográfica, establecimiento de experimentos, modelos de simulación u otros, por lo tanto pueden ser inapropiados para describir otros sistemas. Por último vale la pena recordar que no existen indicadores universales (Masera et al., 1999).



d) Medición de indicadores

La medición de los indicadores: se realizó, de forma independiente para las dos categorías propuestas; para la categoría funcional, a partir, de los valores obtenidos para la huella hídrica total y sus tres categorías, excepto, para el indicador de oferta el cual se cuantifica con base en el documento técnico de EPAM S.A. y EAAB (2014), que presenta la información hidroclimática del área de estudio. Para la categoría político e institucional, la medición se realizó, a partir, de información primaria (información de campo), e información secundaria (documentos técnicos), se plantea identificar si existe o no cumplimiento de las líneas de acción que se proponen en la PNGIRH (2010). Se presenta la ecuación y forma de cálculo propuesta para medir cada uno de los indicadores y su respectiva fuente de información (tabla 13).

Tabla 13. Descripción de cálculo para el sistema de indicadores

INDICADOR	Ecuación para el calculo	FUENTE DE INFORMACION
Índice de Oferta	$IO\% = \frac{EHS}{ACE} \times 100$ Dónde: EHS: Escorrentía hídrica superficial en m <sup>3</sup> ACE: Área de la cuenca de estudio (ha)	Valores reportados por el documento técnico de EPAM S.A. y EAAB (2014).
Índice de Demanda	$ID\% = \frac{\%HHVerde + \%HHAzul}{ACE} \times 100$ Dónde: %HHVerde: Huella Hídrica Verde (m <sup>3</sup> /tn) %HHAzul: Huella Hídrica Azul (m <sup>3</sup> /tn) ACE: Área de la cuenca de estudio (ha) 100% = HHVproducción convencional + HHVproducción ecológica.	Valores de la Huella Hídrica Verde y Huella Hídrica Azul
Índice de Calidad del Agua	$ICA\% = \frac{\%HHG}{ACE} \times 100$ Dónde: %HHG: Huella Hídrica Gris (m <sup>3</sup> /tn) ACE: Área de la cuenca de estudio (ha) 100% = HHGproducción convencional + HHGproducción ecológica.	Valor de la Huella Hídrica Gris
Índice de Riesgo	$IR\% = \frac{\%HHT}{ACE} \times 100$ Dónde: %HHT: Huella Hídrica Total (m <sup>3</sup> /tn) ACE: Área de la cuenca de estudio (ha) 100% = HHTproducción convencional + HHTproducción ecológica	Valor de la Huella Hídrica Total.
Índice de Fortalecimiento Institucional	$IFI\% = \frac{\sum \text{de puntaje de descriptores}}{\text{total de descriptores}}$	Diversos documentos técnicos
Índice de Gobernanza	$IG\% = \frac{\sum \text{de puntaje de descriptores}}{\text{total de descriptores}}$	Información de campo

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

*Indicador de Oferta (IO)*: se construye a partir del balance hídrico de la cuenca del río Tunjuelo ya que este representa la disponibilidad de agua en sector de acuerdo a características hidroclimáticas; en razón del área de la cuenca media del río Tunjuelo que corresponde a 10.797,92 ha (EPAM S.A. y EAAB, 2014).

De acuerdo con el documento técnico de EPAM S.A. y EAAB (2014), el balance hídrico es una herramienta que permite estimar las ganancias de agua por lluvia o riego y las pérdidas por evaporación, escorrentía, drenaje profundo y la variación del almacenamiento de aguas en el suelo. Conocer el balance hídrico de un área permite determinar la disponibilidad del recurso hídrico y la magnitud macro - climática de los periodos con exceso o deficiencia de agua en una unidad de trabajo, cumple con los lineamientos metodológicos del IDEAM para el año 2013; y se cuenta con la información de la red de monitoreo hidro-climatológico operada por la el IDEAM, la CAR y la EAAB. El balance hídrico es calculado, a través, de la siguiente ecuación:

$$P - ETR - Ex + Rt + Tr + \Delta S + \Delta er = Esc$$

Fuente EPAM S.A. y EAAB (2014)

Dónde:

- ✓ *P*: Precipitación (mm).
- ✓ *ETR*: Evapotranspiración real (mm) (evaporación + transpiración)
- ✓ *Ex*: Sumatoria del volumen extraído expresado en mm (demanda) para el periodo en consideración.
- ✓ *Tr*: Sumatoria del volumen de trasvase (mm) hacia (+) o desde (-) la cuenca.
- ✓ *Rt*: Sumatoria del volumen de agua que retorna a la cuenca asociada a diferentes actividades, en el periodo considerado (mm).
- ✓  $\Delta S$ : Cambio de almacenamiento (mm).
- ✓  $\Delta er$ : Terminio residual de discrepancia (mm).
- ✓ *Esc*: Escorrentía media a partir del caudal medido en la estación hidrométrica (mm) durante el periodo considerado.

Para los siguientes tres indicadores, el cálculo se realiza para cada sistema de producción de forma independiente.

*Indicador de demanda (ID)*: se construye a partir del valor de la huella hídrica verde, asumiendo que el 100% es la suma de la huella hídrica verde en cada uno de los sistemas, más (+) la huella hídrica azul asumiendo que el 100% es la suma de la huella hídrica azul en cada uno de los sistemas, en razón del área de la cuenca de la zona de estudio por 100.

*Indicador de Calidad del Agua (ICA)*: se construye a partir del % de la huella hídrica gris asumiendo que el 100% es la suma de la huella hídrica gris en cada uno de los sistemas, en razón del área de la cuenca de la zona de estudio por 100.

*Indicador de Riesgo (IR)*: se construye a partir del % de la huella hídrica total asumiendo que el 100% es la suma de la huella hídrica total en cada uno de los sistemas, en razón del área de la cuenca de la zona de estudio por 100.

Indicador Fortalecimiento Institucional (IFI): se construye, a través, de la valoración de cada una de las líneas de acción, a través, de información primaria (trabajo en campo) y secundaria (documentos técnicos). Posteriormente se asigna a los descriptores un valor, 1 si existe el descriptor y 0 no se identifica la existencia del descriptor, finalmente se suman los valores asignados y se divide en el total de descriptores; no se multiplica por 100 debido para poder ajustar la integración de factores y posteriormente ser evaluados con los demás indicadores. Consultar anexo F.

Indicador de gobernanza (IG): el indicador se construye, a través, de la valoración de cada una de las líneas de acción (se valoran a través de información primaria (trabajo en campo) y secundaria (documentos técnicos). Posteriormente se asigna a los descriptores un valor, 1 si existe el descriptor y 0 no se identifica la existencia del descriptor, finalmente se suman los valores asignados y se divide en el total de descriptores; no se multiplica por 100 debido para poder ajustar la integración de factores y posteriormente ser evaluados con los demás indicadores. Consultar anexo F.

#### e) Estandarización de resultados

La escala de medición tiene como propósito estandarizar los indicadores, dado que estos pertenecen a diferentes dimensiones y pueden ser medidos con unidades completamente distintas, o pueden ser de carácter exclusivamente cualitativo (Alvarado y Angarita, 2014).

Sarandón et al., (2014), propone que los indicadores sean directos, a mayor valor más sustentables (directamente proporcionales), sin embargo, surge la duda para la construcción de la escala de medición, ya que, no debe ser muy amplia (0 a 10), ya que, permitirá una mayor sensibilidad en el análisis de la sustentabilidad, pero resulta bastante difícil de construir y, a veces, puede incluso resultar forzado asignar valores coherentes para todas esas categorías, por otro lado, una escala pequeña (0 a 2), resulta más sencilla de construir, pero puede resultar poco sensible para el objetivo que se busca. En general una escala de 4 o 5 valores es adecuada.

Se recomienda construir una escala que genere cinco valores, 0 a 4, siendo 0 la categoría menos sustentable y 4 la más sustentable (Sarandón et al., 2014). Por lo tanto se propone una escala de medición sencilla, en la cual se asigna un valor de 0, considerado como el nivel menos deseable o el punto más crítico y 4 como el nivel óptimo o ideal para la sustentabilidad; los valores se asignan desde 0 a 4 y gradualmente se generan niveles intermedios.

Inicialmente para la estandarización de los indicadores que corresponden a la categoría funcional, se asigna un rango, que corresponde a una segmentación equilibrada del valor normal de desempeño en %, dado que en los indicadores propuestos establecen la ponderación como mecanismo de estandarización funcional (tabla 14).

Tabla 14. Rango y categoría de estandarización para la categoría funcional

RANGO %	VALOR DE INTEGRACION
1	0
0,76 a 0,99	1
0,6 a 0,75	2
0,26 a 0,5	3
0 a 0,25	4

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

Para los indicadores, de la categoría político e institucional se establece un rango diferente, debido a que estos indicadores se construyen inicialmente de forma cualitativa, posteriormente se asignó un valor, que es el resultado de evaluar el cumplimiento de las líneas de acción, de tal forma, que a mayor cantidad de líneas de acción que se cumplen, mayor valor obtendrá el indicador (tabla 15)

Tabla 15. Rango y categoría de estandarización para la categoría política e institucional

RANGO %	VALOR DE INTEGRACION
0 a 0,25	0
0,26 a 0,5	1
0,6 a 0,75	2
0,76 a 0,99	3
1	4

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

La estandarización se logra, gracias a que se establece una escala de medición y la categoría, equivalente para el sistema de indicadores, pero se describe para cada uno de los indicadores; los valores varían de 0 que corresponde a la categoría crítica y 4 que corresponde a la categoría ideal. A continuación, se presenta, el valor, la categoría y a descripción, para cada uno de los indicadores, como se describe a continuación: indicador de oferta (tabla 16), indicador de demanda (tabla 17), indicador de calidad (tabla 18), indicador de riesgo (tabla 19), indicador de fortalecimiento institucional (tabla 20) y por último el indicador de gobernanza (tabla 21).

Tabla 16. Escala de medición para el indicador de Oferta

Valor	Categoría	Descripción
0	Crítica	La oferta vs la demanda del cultivo es menor, existe un déficit mayor al 90%. La disponibilidad del recurso hídrico es muy escaza.
1	Baja	La oferta vs la demanda del cultivo es menor, existe un déficit mayor al 60%, la disponibilidad del recurso hídrico es escaza.
2	Media	La oferta vs la demanda del cultivo es menor, existe un déficit mayor al 30%.
3	Alta	La oferta vs la demanda del cultivo es equivalente, no hay déficit.
4	Ideal	La oferta hídrica en el sector es mayor vs la demanda del cultivo. Existe abundancia del recurso hídrico.

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

Tabla 17. Escala de medición para el indicador de Demanda

Valor	Categoría	Descripción
0	Crítica	Para cumplir adecuadamente con las necesidades hídricas del cultivo, se capta agua dulce, para las actividades de riego, control de plagas y fertiriego se emplea agua dulce en un 100%.
1	Baja	Para cumplir adecuadamente con las necesidades hídricas del cultivo, se capta agua dulce, para las actividades de riego, control de plagas y fertiriego se emplea agua dulce en un 80%, el 20% restante se obtiene de agua lluvia.
2	Media	Para cumplir adecuadamente con las necesidades hídricas del cultivo, se capta agua dulce, para las actividades de riego, control de plagas y fertiriego se emplea agua dulce en un 50%, el 50% restante se obtiene de agua lluvia.
3	Alta	Para cumplir adecuadamente con las necesidades hídricas del cultivo, se capta agua dulce, para las actividades de riego, control de plagas y fertiriego se emplea agua dulce en un 20%, el 80% restante se obtiene de agua lluvia.
4	Ideal	Para cumplir adecuadamente con las necesidades hídricas del cultivo, para las actividades de riego, control de plagas y fertiriego no se capta agua dulce, el 100% se obtiene de agua lluvia.

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

Tabla 18. Escala de medición para el indicador de Calidad

Valor	Categoría	Descripción
0	Crítica	Aplicación de agroquímicos en exceso, sin recomendaciones técnicas.
1	Baja	Aplicación de agroquímicos 50% y 50% bioinsumos.
2	Media	Aplicación de agroquímicos es de 20% y 80% bioinsumos.
3	Alta	Se emplean 100% de bioinsumos, sin recomendaciones técnicas
4	Ideal	Se emplean 100% bioinsumos, siguiendo recomendaciones técnicas.

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

Tabla 19. Escala de medición para el indicador de Riesgo

Valor	Categoría	Descripción
0	Crítica	El agua utilizada proviene de la captación de agua dulce en un 100%, su calidad varía debido a que se emplean 100% insumos químicos sin recomendaciones técnicas.
1	Baja	El agua utilizada proviene de la captación de agua dulce en un 80%, su calidad varía debido a que se emplean insumos químicos en un 50%.
2	Media	El agua utilizada proviene de la captación de agua dulce en un 50%, su calidad varía debido a que se emplean insumos químicos en un 20%.
3	Alta	El agua dulce empleada proviene en un 80% de la recolección del agua lluvia, existe poca variabilidad en la calidad del agua ya que emplean bioinsumos.
4	Ideal	El agua dulce empleada proviene de la recolección del agua lluvia y su calidad no varía, ya que únicamente se utilizan bioinsumos.

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

Tabla 20. Escala de medición para el indicador de Fortalecimiento Institucional

Valor	Categoría	Descripción
0	Crítica	No hay evidencia de cumplimiento para ninguna de las 15 líneas de acción.
1	Baja	Hay evidencia de cumplimiento para las 5 líneas de acción.
2	Media	Hay evidencia de cumplimiento para las 9 líneas de acción.
3	Alta	Hay evidencia de cumplimiento para las 14 líneas de acción.
4	Ideal	Hay evidencia de cumplimiento para las 15 líneas de acción.

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

Tabla 21. Escala de medición para el indicador de Gobernanza

Valor	Categoría	Descripción
0	Crítica	No hay evidencia de cumplimiento para ninguna de las 10 líneas de acción.
1	Baja	Hay evidencia de cumplimiento para las 3 líneas de acción.
2	Media	Hay evidencia de cumplimiento para las 6 líneas de acción.
3	Alta	Hay evidencia de cumplimiento para las 9 líneas de acción.
4	Ideal	Hay evidencia de cumplimiento para las 10 líneas de acción.

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

Teniendo en cuenta el aporte individual de cada uno de los indicadores, se calcula el valor del sistema de indicadores, el cual corresponde al promedio ponderado, para cada una de las unidades de análisis; se construye una matriz en la cual se presenta el valor obtenido para cada indicador y el promedio, el cual representa el valor de sustentabilidad que toma el sistema de indicadores, así mismo, se incluye el sistema ideal, al cual se asigna el máximo valor que puede tomar cada uno de los indicadores y que a su vez se asume como el sistema de referencia.

Con base en el valor obtenido para el sistema de indicadores se propone una última escala de medición, que incluye rango, debido a que el promedio ponderado puede generar como resultado un número decimal, por lo tanto, se describe su categoría e interpretación del uso sustentable del agua para el sistema de indicadores. Las categorías asignadas, varían entre crítica (0) e ideal (4); se presenta, en la tabla 22.

Tabla 22. Rango y categorías para el sistema de indicadores hídricos

Rango	Categoría	Interpretación para el sistema de indicadores hídricos
0 a 0,8	Uso sustentable del recurso hídrico crítico	Se considera que el uso sustentable del recurso hídrico es crítico, no permite la disponibilidad en términos de cantidad y calidad dada la presencia de trazas de agroquímicos; la presencia institucional y la participación de la población alrededor de la cultura del agua es nula.
0,81 a 1.6	Uso sustentable del recurso hídrico bajo	Se considera que el uso sustentable del recurso hídrico es muy bajo, no permite la disponibilidad en términos de cantidad y calidad dada la presencia de trazas de agroquímicos, la presencia institucional y la participación alrededor de la cultura del agua es poco frecuente.
1.7 a 2.4	Uso sustentable del recurso hídrico medio	Se considera que el uso sustentable del recurso hídrico es medio, permite la disponibilidad en términos de cantidad y calidad con trazas de agroquímicos y/o bioinsumos; la presencia institucional y la participación alrededor de la cultura del agua es intermitente.
2.5 a 3.2	Uso sustentable del recurso hídrico alto	Se considera que el uso sustentable del recurso hídrico es alto, permite la disponibilidad en términos de cantidad y calidad con trazas de bioinsumos; la presencia institucional y la participación de la población alrededor de la cultura del agua es frecuente.
3,3 a 4,0	Uso sustentable del recurso hídrico ideal	Se considera que el uso sustentable del recurso hídrico es ideal, permite la disponibilidad en términos de cantidad y calidad libre de trazas de agroquímicos; la presencia institucional y la participación de la población alrededor de la cultura del agua es eficaz.

Fuente. Elaboración propia con base en la metodología propuesta

#### f) Resultados obtenidos para el sistema de indicadores

El análisis de los resultados se realiza en el marco de la GIRH, con base en los 6 objetivos de la PNGIRH, de forma comparada, por lo tanto se presenta los valores del sistema de indicadores en las dos unidades de producción, a través, de dos matrices, una por componentes y por puntos críticos.

Gráfica de red: lograr simplificar la realidad compleja, exige que los resultados sean expresados de manera sencilla y clara. Una forma de hacer esto es representándolos en un gráfico tipo tela de araña, radar, ameba o cometa, (Astier y Masera, 1999; Sarandón et al., 2014). Es un gráfico sencillo de construir y visualmente muy ilustrativo, donde se representan los valores de los indicadores obtenidos y se comparan con una situación ideal. De acuerdo con Sarandón (2002) este tipo de graficas permiten detectar los puntos críticos de cada sistema, como la distancia entre la situación ideal y la actual; sintetiza numerosa información importante y permite una visión general, holística del problema.

De acuerdo con Acevedo y Angarita (2013), la gráfica consiste en una serie de ejes (tantos como indicadores se seleccionan para la evaluación), que parten de un origen común, el cual corresponde al valor mínimo de la escala generada para estandarizar los indicadores y que tienen como límite superior el valor determinado como ideal al construir el indicador; por lo tanto la gráfica radial tendrá un de origen o valor mínimo de 0 (cero) y un valor de límite superior o ideal de 4 (cuatro). Así mismo, de acuerdo con Sarandón et al., (2014), la representación gráfica de

tipo radar, permite una apreciación global de los principales problemas que se presentan, es muy fácil de interpretar e independiente del observador.

#### **6.5.4. Análisis y discusión de los resultados**

Por último se realiza el análisis y discusión de los resultados, se realizó a través de la comparación entre los dos sistemas de producción, en términos de uso sustentable del recurso hídrico. Posteriormente se discutieron los principales elementos que favorecen o que inhiben a cada uno de los sistemas de análisis.

Independientemente de los pasos que contempla el MESMIS, se presenta un análisis sobre la pertinencia y aplicabilidad de los indicadores elegidos, considerando las fortalezas y debilidades del uso de los mismos y se proponen alternativas para futuros trabajos de esta índole.

##### **6.5.4.1. Discusión con base en la propuesta de investigación**

Para finalizar se discuten los resultados con base en la propuesta metodológica, con el propósito de identificar ventajas y/o desventajas, relacionadas con la construcción y uso de indicadores, y proponer entonces, mejoras para futuros trabajos.



## **7. RESULTADOS**

De acuerdo con la información que presenta el Plan de Manejo Ambiental de la vereda la Requilina propuesto por Sosa y Bonilla (2017), la vereda está ubicada en la localidad de Usme, la cual posee una superficie total de 21.506,7 ha, de estas 2.120,7 ha corresponden a suelo urbano, 902.1 se clasifican como suelo de expansión urbana y las restantes 18.48,9 ha, las cuales constituyen el suelo rural. Usme es la segunda localidad con mayor superficie dentro del Distrito Capital, después de la localidad de Sumapaz, y tiene 29 veredas de las cuales las de mayor extensión son Chisacá, La Unión, Los Arrayanes y Olarte. Las veredas de menor extensión son Centro Usme Rural I y II y la Requilina Rural II.

La vereda la Requilina se encuentra ubicada en la UPZ 61 Ciudad Usme, limita al norte con las localidades San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe y Tunjuelito; al oriente con los municipios de Chipaque y Une; al sur con la localidad de Sumapaz; y al occidente con la localidad Ciudad Bolívar, con el Río Tunjuelo de por medio y los municipios de Pasca y Soacha (Tiene una extensión de 925.5 ha y un 30.6% del total del área de las UPZ de la localidad (Corredor, 2013).

Las características principales de la zona de estudio, se presentan de forma simplificada, en tres matrices, características biofísicas, características socioeconómicas y características socioculturales, las cuales pueden ser consultadas en el anexo B.

A continuación se presentan los resultados del desarrollo, para cada uno de los objetivos específicos, de acuerdo con la propuesta metodológica.

### **7.1. Caracterización de las unidades de estudio**

#### **7.1.1. Tipificación sistema finca producción convencional**

Este sistema de referencia se considera convencional, básicamente por el manejo dado a sus recursos naturales; mano de obra contratada y comercialización del producto final. Así mismo, de acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2002), la agricultura convencional involucra el uso de sustancias químicas sintéticas total o parcialmente.

La tipificación del sistema finca convencional se presenta en tabla 23., en la cual se describe la unidad agrícola, a través, de sus componentes económicos, ecológicos y socio-culturales.

Tabla 23. Matriz síntesis del sistema finca de producción convencional: Unidad agrícola

<b>Identificación de la finca</b>	
Localización	Usme – vereda La Requilina
Area total de la finca	11000 m <sup>2</sup>
Sistema productivo que predomina	100% actividad agrícola, se destina 10000 m <sup>2</sup>
Condición de la finca	Arrendado – Sociedad
<b>Componentes y arreglos</b>	
<b>Componente productivo</b>	
Agrícola	Cultivos de papa criolla y arveja para comercializar, se cultiva la totalidad del terreno con un solo tipo de cultivo y se rota aproximadamente tres cosechas de papa por una de arveja
Pecuario	No se presenta
Forestal	No se presenta
Minero	No se presenta
Otro	No se presenta
<b>Componente económico</b>	
<b>Insumos y abastecimiento para la producción</b>	
Fuentes económicas de inversión que requiere la actividad agrícola	Sociedad entre el propietario y el arrendatario
Infraestructura de producción y nivel tecnológico	Mínimo, tradicional rural
Maquinaria y/o equipos	Mínimo, fumigadora manual, pala y carretilla
Fuentes de energía	No requiere debido a que no poseen maquinaria ni equipos
Adecuación hidráulica	No tienen, la fuente de abastecimiento de agua para riego es agua lluvia
Cuál es el monto aproximado de la inversión total de la cosecha (insumos y mano de obra.	Papa: \$6'000.000 Arveja: \$9'000.000
La actividad productiva que desarrolla en la finca es rentable	No siempre hay ganancia, depende de la época de la cosecha y del comprador
<b>Comercialización del producto final</b>	
Se proyecta abastecer el mercado local	No
% del producto final comercializado	100%
Precio de venta de la cosecha	Sin precisar la información
Canal de distribución	Venta directa fuera de la vereda
<b>Componente socio-cultural</b>	
<b>Fuerzas de trabajo</b>	
Número de trabajadores	5 a 6 jornaleros
Tipo de mano de obra	Asalariado, se paga el día de jornal a \$ 50.000
Pertenece a alguna red comunitaria que permita comercializar el producto.	No
<b>Arreglos</b>	
Solo presenta un tipo de arreglo: agrícola convencional, monocultivo de papa criolla y/o arveja.	
<b>Tipo de interacciones entre los componentes</b>	
Competencia dado el tipo de producción, las variedades son vulnerables a plagas y enfermedades	
<b>Componente ecológico</b>	
<b>Antecedentes de gestión ambiental</b>	
Conoce los principales impactos que genera al ambiente y recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna), a la salud y a la calidad	El agricultor considera que la actividad no genera un impacto negativo, ya que el uso de agroquímicos es mínimo y es necesario para

del producto final el proceso agrícola que usted desarrolla en la finca	controlar los daños a los cultivos.
Disposición final de residuos	Inicialmente los envases de agroquímicos los recogía la empresa, ahora no lo hacen motivo por el cual reutilizan el empaque para preparar los insumos utilizados para el control y fertilización.
Presencia de representantes ambientales en el sector.	La ULATA, pero la atención es insuficiente ya que debe ofrecer apoyo a las 14 veredas de Usme, adicionalmente hay que tener en cuenta que se emplean conocimientos tradicionales.
<b>Manejo de recursos naturales</b>	
<b>Recurso Suelo</b>	
Conoce cuáles son las características que debe tener la finca para mantener la capacidad productiva de forma constante y óptima	No se cuenta con análisis de suelo, por lo tanto el agricultor adiciona de forma permanente fertilizantes y plaguicidas a los cultivos.
Protege los suelos mediante técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos	No, pero el tipo de labranza que se realiza es mínimo y el área de cultivo corresponde a una zona plana.
Uso de insumos agrícolas de forma permanente que puedan generar algún tipo de impacto a los suelos.	Si, agroquímicos (herbicidas, insecticidas y fertilizantes).
Considera que el suelo es receptor de los subproductos generados por el uso insumos agrícolas.	Sí, todo cae al suelo los insumos y el agua lluvia.
Lleva algún control de registro de la aplicación de insumos agrícolas (agroquímicos o biopesticidas)	No, pero la aplicación de los agroquímicos se realiza cada 20 días durante el periodo total del cultivo (4 meses); es decir se realiza 6 dosis.
<b>Recurso Hídrico</b>	
Cuáles son las fuentes de abastecimiento de agua para las actividades agrícolas.	<p>Agua Lluvia: la cantidad de agua depende al régimen hídrico de la zona y corresponde a las fechas durante las cuales se realiza la siembra, el agricultor no tiene conocimiento de cuál es la necesidad hídrica del cultivo y afirma que la cantidad de agua que recibe el cultivo durante el periodo de cosecha es la del agua lluvia.</p> <p>Agua del nacedero es empleada para la preparación de agroquímicos y/o limpieza, se toma directamente del punto en el cual se encuentra el nacedero.</p>
Realiza actividades para proteger las fuentes de agua	No se identificaron medidas de protección en el área del nacedero, ni alrededor de la misma.
Conoce cuál es la calidad o parámetros que debe cumplir el agua para ser utilizada para riego.	El agricultor afirma que el hospital de Usme ha realizado muestreos de las fuentes principales de agua en la vereda pero desconoce las características del agua del nacedero.
Controla de alguna forma que los residuos de insumos agrícolas que usa lleguen a las fuentes hídricas	El agricultor afirma que la aplicación de agroquímicos es controlada con una fumigadora manual, y se realiza de forma directa en el área de cultivo. Sin embargo, no sabe qué efectos puede tener los agroquímicos que adiciona al cultivo cuando el agua lluvia se infiltra en el suelo; o si por consecuencia del arrastre puedan llegar residuos a

	los cuerpos de agua vecinos al cultivo.
Considera que las fuentes de agua son receptores de los subproductos generados por el uso de agroquímicos	No se realiza ningún tipo de tratamiento al agua empleada para la preparación de insumos, se utiliza el agua del nacedero, recolectada directamente en la fuente.
<b>Recurso Aire</b>	
Realiza quema abierta de algún tipo de vegetación natural, residuos o desechos	No
<b>Recurso Flora y Fauna</b>	
Existen especies protegidas	No sabe

Fuente: El estudio con base en el trabajo de campo

### 7.1.2. Tipificación del sistema finca producción ecológica

De acuerdo con el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2002), la agricultura ecológica, son todos aquellos sistemas que promueven la producción ambiental, social y económicamente sostenible de alimentos, los cuales deben ocurrir sin la utilización de insumos de síntesis química y tomando la fertilidad del suelo como un elemento fundamental para la producción exitosa, respetando la capacidad natural de las plantas, los animales y los suelos, para optimizar la calidad en todos los aspectos de la agricultura y el ambiente.

El sistema finca que se describe a continuación, es una finca de producción ecológica con aproximadamente 5 años de conversión (producción convencional a producción ecológica), los insumos que emplean para el manejo del cultivo son de tipo orgánico, rotan los cultivos de manera permanente para evitar el agotamiento de los nutrientes del suelo (aunque vale la pena aclarar que en el sector y en el área de estudio no se cuenta con estudios de suelo recientes), así mismo, cabe resaltar que los insumos de tipo orgánico son inocuos para los recursos flora, fauna, aire y agua; no presentan un impacto negativo en la salud de la población, son económicamente viables ya que son preparados en la finca por el agricultor y usualmente son residuos orgánicos generados por otras actividades realizadas por la familia ya sea en la vivienda o por actividades derivadas del manejo agropecuario que ocurre en la finca.

Este sistema combina prácticas tradicionales campesinas, también, se puede afirmar que las actividades de prácticas convencionales se han ido eliminando, a través, de los últimos años, teniendo en cuenta las iniciativas del productor y del sector; ya que para el manejo de los cultivos se ha eliminado el uso de insumos químicos en la finca, de igual forma en predios vecinos; se procura aprovechar los recursos y/o propiedades de la finca de forma proporcionada esperando no alterar de manera negativa el equilibrio en la finca; así mismo, la familia realiza autoconsumo de los productos finales.

Esta finca está incluida dentro de la Ruta Agroturística la Requilina presentando como potencial el cultivo de hierbas aromáticas bajo invernadero (la construcción de este fue apoyado por la Secretaria de Distrital de Ambiente). El agricultor es consiente que se debe seguir trabajando de esta forma, sin embargo, afirma que hace falta apoyo económico, igualmente afirma que se requiere capacitación

permanente; así como también se necesita que todos los agricultores del sector participen en esta transición hacia la agroecología.

El sistema finca de producción ecológica cuenta con tres unidades, a continuación en la tabla 24, se presenta la tipificación de la unidad agropecuaria; ya que esta corresponde a la unidad de análisis. La tipificación de las otras dos unidades que corresponden a la unidad de producción bajo invernadero y la unidad de vivienda rural pueden ser consultadas en el anexo G.

Tabla 24. Matriz síntesis del sistema finca de producción ecológica: Unidad agropecuaria

<b>Identificación de la finca</b>	
Localización	Usme – vereda La Requilina
Área total de la finca	11.000 m <sup>2</sup> de los cuales aproximadamente 10000 m <sup>2</sup> se destinan para la actividad agrícola, 500 m <sup>2</sup> para la actividad pecuaria, 100 m <sup>2</sup> para el invernadero, 70 m <sup>2</sup> la vivienda rural y el área restante en otras actividades
Sistema productivo que predomina	Sistema de producción ecológica con aproximadamente seis años de transformación. Predomina el sistema agrícola con aproximadamente el 90% del área total de la finca el 5% restante se destina para actividad agropecuaria y el 5% restante en otros.
Condición de la finca	Familiar
<b>Componentes y arreglos</b>	
<b>Componente productivo</b>	
Agrícola	Frutales: durazno, manzana, ciruela, feijoa. Área de cultivo pequeña (5 m <sup>2</sup> ) destinada solo para autoconsumo y es independiente de la zona en la que se rota la siembra de maíz y arveja que corresponde a la zona más grande de siembra. Cereales: maíz Leguminosas: arveja
Pecuario	2 vacas: multipropósito ordeño (leche) y carne 1 cabra de ordeño
Forestal	No se presenta
Minero	No se presenta
Otro	La finca pertenece a la ruta agroturística de la vereda La Requilina cuyo potencial es el de hierbas aromáticas cultivadas bajo invernadero.
<b>Componente económico</b>	
<b>Insumos y abastecimiento para la producción</b>	
Fuentes económicas de inversión que requiere la actividad agrícola.	Inversión propia a través de créditos y sociedad con familiares (hermanos)
Infraestructura de producción y nivel tecnológico	Mínimo tradicional rural
Maquinaria y/o equipos	1 Carretilla, 1 pala
Fuentes de energía	No requiere debido a que no poseen maquinaria ni equipos
Adecuación hidráulica	No tienen, la fuente de abastecimiento de agua para riego es agua lluvia
Cuál es el monto aproximado de la inversión de insumos y mano de obra	Sin precisar debido a que es una actividad familiar y en su gran mayoría para autoconsumo.
La actividad productiva que	No siempre hay ganancia, depende de la época de la

desarrolla en la finca es rentable	cosecha
La actividad agropecuaria es la fuente económica principal	No. La cabeza de hogar y dos hijos trabajan en otra actividad
<b>Comercialización del producto final</b>	
Se proyecta abastecer el mercado local	No
% del producto final comercializado	80%
% de autoconsumo	20%, el cual incluye consumo de leche, verduras, frutas y hierbas aromáticas
Canal de distribución	Venta directa fuera de la vereda
<b>Componente socio cultural</b>	
<b>Composición del Hogar</b>	
El hogar está conformado	Padres e hijos
Cuántas personas se dedican a la actividad agropecuaria	50%
Los menores de edad participan en la actividad agropecuaria	Sí, pero solo en la época de vacaciones en actividades que no exigen un esfuerzo físico alto (deshierbe manual, preparación de bioinsumos)
<b>Fuerzas de trabajo</b>	
Número de trabajadores	Padre, madre y 2 hijos
Tipo de mano de obra	Familiar
Pertenece a alguna red comunitaria que permita comercializar el producto de forma sencilla.	La ULATA, pero la atención es insuficiente ya que debe ofrecer apoyo a las 14 veredas de Usme. La Secretaria Distrital de Ambiente, anteriormente ofrecía apoyo técnico a los agricultores, actualmente no.
<b>Arreglos</b>	
Agrícola producción ecológica Pecuario	
<b>Tipo de interacciones entre los componentes</b>	
Mutualismo: las heces fecales de las gallinas, vacas y cabra se utilizan como compost en el área de cultivo para fertilizar	
<b>Componente ecológico</b>	
<b>Antecedentes de gestión ambiental</b>	
Conoce los principales impactos que genera al ambiente y recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna), a la salud y a la calidad del producto final el proceso agrícola que usted desarrolla en la finca	El agricultor considera que la actividad no genera un impacto negativo, ya que se cultiva de forma ecológica empleando bioinsumos, realizando rotación de cultivos y la unidad productiva presenta diferentes agroecosistemas.
Disposición final de residuos	No hay residuos, debido a que los insumos son preparados y se reutilizan dentro de los diferentes agroecosistemas que componen la unidad productiva
Presencia de representantes ambientales en el sector	La ULATA, pero la atención es insuficiente ya que debe ofrecer apoyo a las 14 veredas de Usme, adicionalmente hay que tener en cuenta que se emplean conocimientos tradicionales.
<b>Manejo de recursos naturales</b>	
<b>Recurso Suelo</b>	
Conoce cuáles son las características que debe tener la finca para mantener la capacidad productiva de forma constante y óptima	No se cuenta con análisis de suelo, por lo tanto el agricultor adiciona durante la época de cultivos bioinsumos
Protege los suelos mediante	Sí, realiza rotación de los cultivos y desarrolla diferentes

técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos	actividades dentro de la finca.
Uso de insumos agrícolas de forma permanente que puedan generar algún tipo de impacto a los suelos.	No porque se aplican insumos preparados como humus, compost y gallinaza.
Considera que el suelo es receptor de los subproductos generados por el uso insumos agrícolas.	Sí, pero debido a el tipo de sistema de producción agrícola que se desarrollada los insumos son orgánicos y no químicos, no generan un impacto negativo en el suelo.
Lleva algún control de registro de la aplicación de insumos agrícolas (agroquímicos o biopesticidas)	El agricultor no lleva ningún registro, sin embargo, la adición de fertilizantes orgánicos al área de cultivo durante el periodo de siembra de aproximadamente 4 meses y ½ es de: gallinaza o compost 4 bultos x 25 Kg más 1 bulto x 50 Kg de Humus.
<b>Recurso Hídrico</b>	
Cuáles son las fuentes de abastecimiento agua para las actividades agrícolas.	Agua Lluvia: la cantidad de agua depende al régimen hídrico de la zona y corresponde a las fechas durante las cuales se realiza la siembra, el agricultor no tiene conocimiento de cuál es la necesidad hídrica del cultivo y afirma que la cantidad de agua que recibe el cultivo durante el periodo de cosecha depende únicamente del agua lluvia.  Agua del nacedero es empleada para la preparación de bioinsumos, se toma directamente del punto en el cual se encuentra el nacedero.
Realiza actividades para proteger las fuentes de agua	No se identificaron medidas de protección, sin embargo el agricultor afirma que tiene proyectado poner cercas vivas.
Conoce cuál es la calidad o parámetros que debe cumplir el agua para ser utilizada para riego.	El agricultor afirma que el hospital de Usme ha realizado muestreos de las fuentes principales de agua en la vereda pero desconoce las características del agua del nacedero.
Controla de alguna forma que los residuos de insumos agrícolas que usa lleguen a las fuentes hídricas	No los controla, pero emplea bioinsumos los cuales considera inofensivos para el medio ambiente.
Considera que el suelo es receptor de los subproductos generados por el uso insumos agrícolas	Si
<b>Recurso Aire</b>	
Realiza quema abierta de algún tipo de vegetación natural, residuos o desechos	No
<b>Recurso Flora y Fauna</b>	
Existen especies protegidas dentro de la finca	No sabe

Fuente: El estudio con base en el trabajo de campo

La ocupación del territorio indica que la actividad agrícola desarrollada en la vereda presenta diferencias y semejanzas entre el sistema de producción convencional y el sistema de producción ecológico, las cuales se presenta a continuación:

En los dos sistemas de producción se presenta bajo nivel tecnológico, no poseen sistema de riego, para esta actividad dependen esencialmente del agua lluvia, son pequeños productores, debido a la baja asistencia técnica en la zona emplean

conocimiento tradicional campesino, presentan desconocimiento del estado actual y manejo apropiado de los recursos naturales tales como agua, aire, flora, fauna y suelo.

Con base en la información relativa a la estructura y función de las dos fincas de análisis, se presentan algunas características de los principales componentes, que describen y marcan algunas diferencias entre los dos sistemas productivos, mediante una clasificación multidimensional general, como se describe a continuación en la tabla 25.

Tabla 25. Matriz síntesis comparativa

Características		Sistema Convencional	Sistema Ecológico
Clima		La distribución temporal de la precipitación es bimodal con dos periodos húmedos marzo a mayo y septiembre a noviembre y secos de diciembre a febrero y junio a agosto. Precipitaciones entre los 1400 y 1700 mm, presenta temperaturas entre los 7 y 12 °C. La clasificación climática de acuerdo con Caldas modificado: Frio y seco, Thornthwaite: Semifrío, Holdrige: Bosque húmedo montano (bh-M) (Sosa y Bonilla 2017).	
Componentes bióticos	Agrícola: Cultivos	1 (arveja)	6 (durazno, manzana, ciruela, feijoa, maíz y arveja).
	Pecuario	No presenta	Si: 2 vacas y una cabra
	Forestal	No presenta	No presenta
Tecnológicas y de manejo	Rendimiento	4 toneladas/ha	4 toneladas/ha
	Labranza	Manual	Manual
	Fertilización	800 kg de triple 15	100 kg de gallinaza, 50 kg de humus, cobertura natural del suelo
	Plagas y enfermedades	Curacrom 0.2 litros	Monitoreo visual permanente, no aplica ningún insumo orgánico.
	Vegetación espontanea	Deshierbe manual	Deshierbe manual
	Agroquímicos	Si	No
	Riego	No	No
Socio cultural	Maquinaria y/o equipos	1 Fumigadora manual y 1 carretilla, 1 pala	1 carretilla y 1 pala
	Integración social	No	Ruta agroturística la Requilina, Potencial hierbas aromáticas.
Socio económicas	Superficie	1 ha: para monocultivo	1 ha para cultivo 500 m <sup>2</sup> para actividad pecuaria 100 m <sup>2</sup> para invernadero 70 m <sup>2</sup> para vivienda rural
	Participación familiar	No	Si
	Mano de obra	Jornaleros: permanente	Familiar: Padre permanente, madres e hijos ocasionalmente
	Red de servicios públicos	Ninguno	En la vivienda principal: Empresa de energía eléctrica codensa. Acueducto Veredal Aguas Doradas



	Productos comercializados	Arveja	Arveja
	Autoconsumo	0%	20%
	Canales de comercialización	Venta directa fuera de la vereda	Venta directa fuera de la vereda
<b>Ecológico: Recurso hídrico</b>	Fuentes de abastecimiento directas	Nacedero	Nacedero
	Fuentes de abastecimiento indirecta	Agua lluvia	Agua lluvia
	Protección a fuentes hídricas	No	No, tiene proyectado poner cercas vivas, con el apoyo de la empresa de acueducto de Bogotá
	Parámetros de calidad del agua	No	No
	Evita que los insumos agrícolas, lleguen a las fuentes de agua cercanas.	No, utiliza insumos químicos y desconoce el efecto de estos en el ambiente.	No, utiliza insumos orgánicos, los cuales son considerados parcialmente inocuos para el ambiente.

Fuente: El estudio con base en el trabajo de campo

La unidad de producción ecológica cuenta con unidad agropecuaria, unidad agrícola bajo invernadero y unidad de vivienda rural. La interacción entre los componentes que ocurren en la producción convencional es de tipo competitiva; mientras que en la producción ecológica es de tipo subsistencia (autoconsumo) y mutualismo.

La producción convencional emplea insumos químicos (fertilizantes, plaguicidas, insecticidas, herbicidas) y la producción ecológica emplea insumos orgánicos (gallinaza), la adición de agroquímicos en el sistema convencional genera inversión económica permanente, mientras que en el sistema convencional la gallinaza es preparada en la finca.

Las fuerzas de trabajo en la producción ecológica es realizada por padres e hijos (trabajo familiar), no hay reconocimiento económico, ya que la actividad agrícola surge de forma espontánea y hace parte de la dinámica familiar practicada de forma permanente por décadas, la cual en principio era la actividad de ingresos principal; por otra parte en el sistema de producción convencional el trabajo es realizada por jornaleros lo cual genera inversión económica para el pago el cual se realiza de forma semanal.

El sistema de producción ecológico presenta ventajas ya que al no emplear agroquímicos previene la contaminación en las aguas, no requiere de tratamiento para las aguas de lavado, garantiza que en el suelo no se presenten procesos de agregación por agroquímicos, no modifica momentáneamente la calidad del aire, no expone al cultivo a una posible contaminación por agroquímicos que modifique la calidad final del producto, no hay exposición de agroquímicos por parte de las

personas que desarrollan la actividad agrícola y por ultimo presenta una inversión económica menor en insumos y mano de obra.

El productor mantiene la actividad de agricultura ecológica debido a que considera que esta genera menor impacto al ambiente y el costo de la producción es menor; sin embargo afirma que actualmente la venta del producto final no representa un mayor ingreso económico, por lo no menos no en la vereda ya que la venta del producto es similar al obtenido en el sistema de producción convencional, así mismo, se reconoce que hay más productores en la zona que cultivan de forma ecológica y coinciden en que el producto no se vende a un mayor precio ya que consideran que para entrar al mercado con productos ecológicos deben cumplir con la regulación de producción que presentan este tipo de productos, para lo cual necesitan apoyo económico e institucional del sector.

## **7.2. Aspectos funcionales que alteran las características del recurso hídrico**

### **7.2.1. Apropiación, uso y alteración del recurso hídrico**

A partir de la caracterización de las dos unidades, se logró identificar algunos aspectos que facilitan u obstaculizan los atributos de sustentabilidad hídrica, es decir, los puntos críticos de los sistemas de manejo bajo estudio, considerando únicamente la dimensión ecológica del recurso hídrico, por ser la de interés para la investigación; así mismo, aunque existen distintas variantes de la eficiencia técnica del agua, en este trabajo se tiene en cuenta lo propuesto por Abihaggle y Day (2004); quienes se refieren a la eficiencia interna, es decir, la que se da dentro de la parcela y está relacionada entre otras con la forma de conducción del agua dentro del cultivo.

En los sistemas de producción convencional y ecológico se realiza la caracterización del recurso hídrico en la producción de arveja, aunque de acuerdo con el productor, actualmente no se encuentra cultivo de arveja en ninguno de los dos sistemas, pero fue un *cultivo común*; en el sistema convencional se cultiva para hacer rotación de cultivos de mayor importancia como la papa, en el sistema ecológico es un cultivo el cual hace parte de los procesos de siembra que se realizan. En la tabla 26, se presenta la información relacionada con el cultivo de arveja en las dos unidades de observación.

El rendimiento obtenido por hectárea es de aproximadamente 4.000 kg/ha, para las dos unidades de análisis lo anterior debido a que el área de siembra es de 1 hectárea (ha), se siembra la misma cantidad de semillas (100 kg). De acuerdo con el Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2015), la arveja variedad Santa Isabel presenta un rendimiento de 4.000 a 5.600 kilogramos de vaina verde; por lo tanto el rendimiento obtenido en estos cultivos presenta coherencia.

Tabla 26. Información del cultivo de arveja

Tipo de producción	Fecha inicial	Fecha final	Área cultivada	Semillas sembradas	Total de insumos	Riego	Rendimiento del cultivo
Convencional	01 de Agosto 2016	15 Diciembre 2016	1 Ha	100 kg	800 Kg de Triple 15 y 0,2 Litros de curacrom	No se realiza	4000 kg
Ecológico	1 de Abril 2016	15 Agosto 2016	1 Ha	100 kg	100 Kg de gallinaza y 50kg de Humus	No se realiza	4000 kg

Fuente: El estudio con base en el trabajo de campo

Posteriormente se identificaron las fuentes de agua disponibles en las unidades de análisis y utilizadas por el agricultor, para la finca convencional se limita al uso agrícola, sin embargo, para la finca ecológica se incluye uso doméstico (tabla 27).

Tabla 27. Matriz síntesis de las fuentes de abastecimiento de agua en los sistemas finca

Fuentes de agua	Finca Convencional			Finca Ecológica		
	Uso doméstico	Uso agrícola	Observaciones	Uso doméstico	Uso agrícola	Observaciones
Acueducto Veredal	No hay vivienda principal			X		Acueducto Veredal Aguas Doradas
Nacedero de la finca	No hay vivienda principal	X	Proviene de la quebrada La Requilina	X		Proviene de la quebrada La Requilina
Agua lluvia	No hay vivienda principal	X	Régimen hídrico de la zona		X	Régimen hídrico de la zona

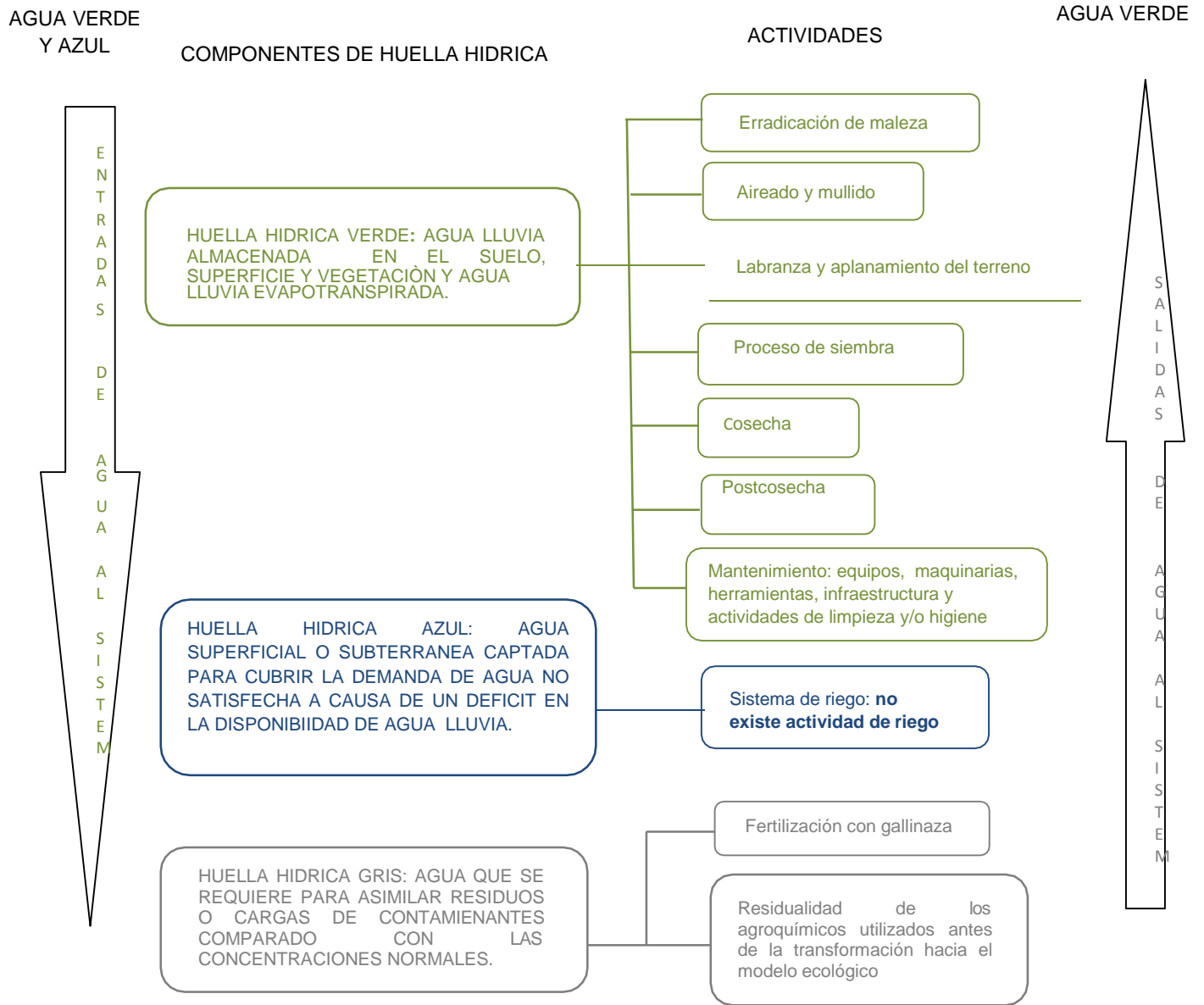
Fuente: El estudio con base en el trabajo de campo

Las pequeñas unidades de análisis, no presentan infraestructura para riego, estas actividades surgen más del conocimiento tradicional frente al evento climático (seco, húmedo e hiperhúmedo), de las áreas de páramo y subpáramo; la toma de decisiones para agregar agua ocurre más de forma espontánea e intuitiva por parte del productor y es independiente al modelo productivo.

### 7.2.1. Diagramas de flujo Huella Hídrica

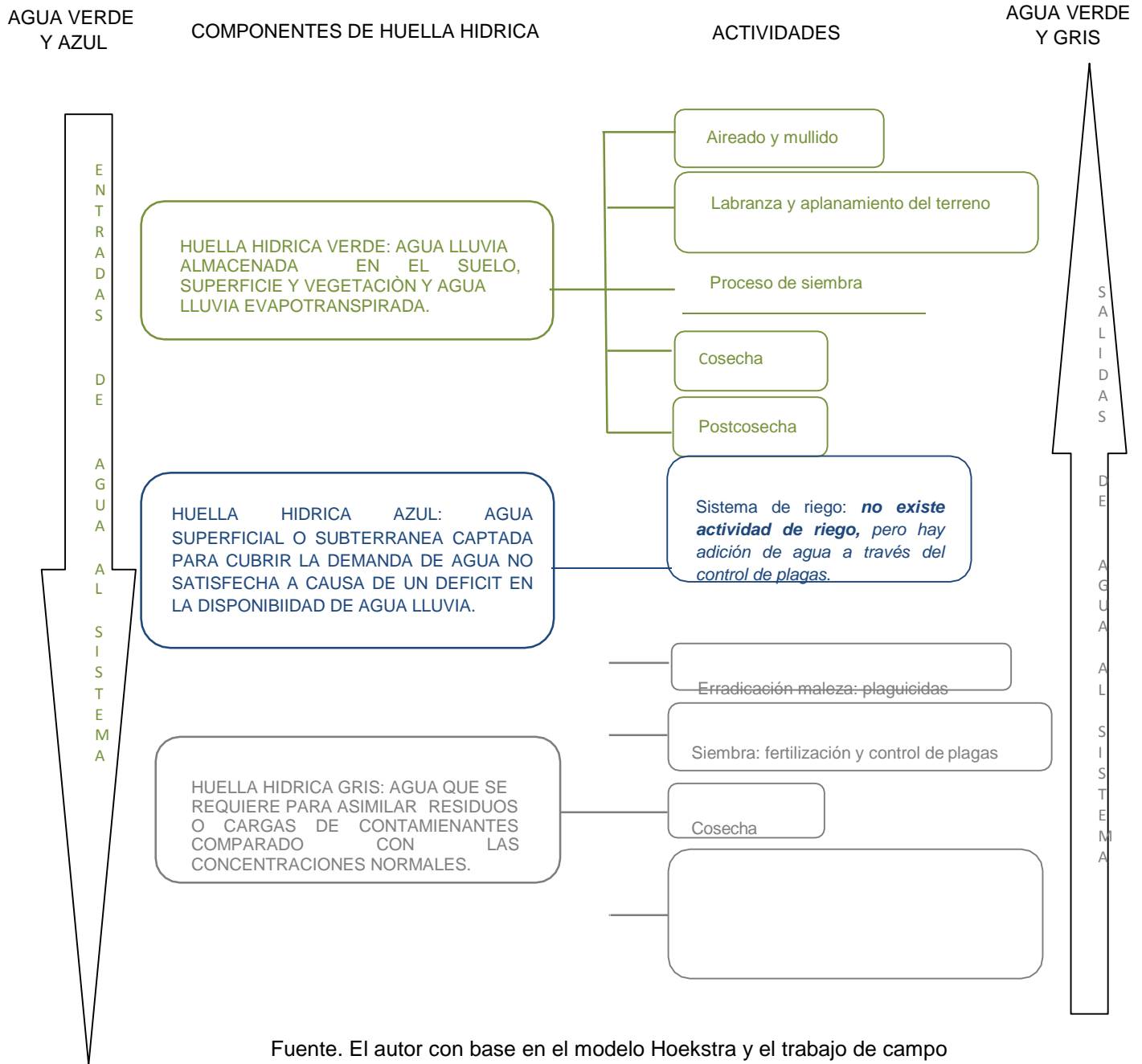
La adaptación y cálculo para la huella hídrica, se realizó teniendo en cuenta cada una de las actividades desarrolladas en cada sistema y su relación directa con los tres componentes (huella hídrica verde, huella hídrica azul y huella hídrica gris), posteriormente se esquematizo, a través, de un diagrama de flujo. Los diagramas de presentan en las Figura 2: Producción ecológica y Figura 3: Producción convencional.

Figura 2. Componentes de huella hídrica para cada una de las actividades en la producción ecológica



Fuente. Elaboración propia con base en Hoekstra et al., (2011) y el trabajo de campo

Figura 3. Componentes de huella hídrica para cada una de las actividades en la producción convencional



Fuente. El autor con base en el modelo Hoekstra y el trabajo de campo

*\*Una misma actividad puede generar uno o dos tipos de huella.*

\*Para las actividades de la producción convencional: almacenamiento, comercialización transporte y para la producción ecológica: autoconsumo; no se considera ningún tipo de huella hídrica, debido a que no existe correspondencia.

### 7.2.3. Cálculo de la Huella Hídrica Total

#### 7.2.3.1. Huella Hídrica Verde - HHV

El valor de la huella hídrica verde calculado es equivalente en los dos sistemas (convencional y ecológico), ya que el área cultivada en cada finca y el valor de la precipitación efectiva (pfe) obtenido en la modelación del software cropwat 8.0 es equivalente. Los cálculos se presentan en el anexo H. En la tabla 28, se presentan los resultados.

Tabla 28. Resultados Huella Hídrica Verde

Sistema de producción	HHV (m <sup>3</sup> / ton)
Producción Convencional	1505,3
Producción Ecológica	1505,3

Fuente. El estudio con base en los datos campo y la modelación en el software cropwat 8.0

De acuerdo con el IDEAM (2015), la huella hídrica verde comprende la cantidad de agua evapotranspirada por la vegetación y que está disponible para la necesidad hídrica de los cultivos; por lo tanto, para el cultivo de arveja y de acuerdo con el régimen hídrico de la zona de estudio, el cultivo logra captar 602.1 mm, es decir, un 89.7% (equivalente en los dos sistemas), ya que, en promedio la precipitación del lugar es de 671,3 mm de agua de acuerdo con las fechas de siembra.

#### 7.2.3.2. Huella Hídrica Azul-HHA

##### ✓ Huella Hídrica Azul Producción Convencional

Para el cálculo de esta huella se debe tener en cuenta que durante la etapa en campo se logró establecer que no existe actividad de riego; por lo tanto, se calculan dos clases de HHA, la primera corresponde a la modelación con el software cropwat 8.0 que representa la necesidad de agua (riego) para el cultivo; y la segunda HHA calculada corresponde a la cantidad de agua adicionada al cultivo, a través, del control de plagas. Los cálculos se presentan en el anexo I.

##### ✓ Huella Hídrica Azul Producción Ecológica

De acuerdo con la modelación del software cropwat 8.0., para el período de siembra del cultivo de arveja no hay déficit de agua. En la tabla 29, se presentan los resultados.

Tabla 29. Resultados Huella Hídrica Azul

Sistema de producción	HHA (m <sup>3</sup> / ton)
Producción Convencional	2.510,5
Producción Ecológica	0

Fuente. El estudio con base en los datos campo y la modelación en el software cropwat 8.0

Los datos modelados en el software cropwat 8.0 permiten establecer que para el cultivo de arveja del sistema de producción convencional se requiere un total de 10,5 m<sup>3</sup>/ton por año, este valor representa el requerimiento de agua para el cultivo, debido a que en las fechas en que se realizó la siembra hay déficit de agua que debe ser cubierto, a través, del riego; sin embargo, aunque no hay actividad de riego, si hay adición de agua gracias al control de plagas, se adiciona un total de 2.500 m<sup>3</sup>/ton de agua, cubriendo en exceso la necesidad hídrica para el cultivo.

Los datos modelados en el software cropwat 8.0 permitieron establecer que para el sistema de producción ecológico no se requiere adicionar agua al cultivo, a través, del riego, por lo tanto este cultivo presenta un desarrollo apropiado durante el periodo de cultivo (abril a julio), aunque no se adiciona agua, ya que durante esta época no hay déficit de almacenamiento de agua.

### 7.2.3.3. Huella Hídrica Gris -HHG

#### ✓ Huella Hídrica Gris Producción Convencional

De acuerdo con la información suministrada por el agricultor fue posible establecer cuáles y que cantidad de agroquímicos es utilizada (tabla 30).

Tabla 30. Característica de los agroquímicos empleados en la producción convencional

Agroquímico	Uso	Toxicidad	Vida Media
Curacrom 500 EC	Insecticida organofosforado	Alta: para organismos acuáticos y perjudicial para el medio ambiente	En los suelos su movilidad es baja y es eliminado rápidamente por hidrólisis química en condiciones alcalinas y por biodegradación. Su vida media en condiciones aerobias y anaerobias es de 2 y 3 días. Su metabolismo a pH ácido y neutro es menor. En los cuerpos de agua se espera que sea degradado por hidrólisis (particularmente a pH básico) y que se adsorba a los sólidos suspendidos y sedimentos.
Triple 15	Fertilizante granulado	Baja: no prevé ningún efecto adverso al medio ambiente. Los pequeños derrames en fuentes de agua no suponen problema. Sin embargo, una alta concentración puede convertirla en no apta para el consumo humano y/o animal	No hay información disponible con respecto a la movilidad y el coeficiente de partición (KOC) tierra/agua, que determina la absorción de carbono orgánico que es una medida de la distribución del compuesto entre el suelo y la fase líquida. Representa la capacidad del pesticida para ser retenido por la materia orgánica y la arcilla del suelo, y por lo tanto permite determinar el tiempo de vida medio del agroquímico en el ambiente

Fuente. El autor con base en CAR (2006)

La concentración de los contaminantes, son expresadas en los parámetros de nutrientes como nitritos, nitratos, amoniaco (nitrógeno amoniacal), la anterior

expresión es posible debido a que se estable una relación de los elementos representativos del agroquímico, adicionalmente, estos parámetros son expresado de esta forma porque es así como los presenta el Artículo Número 43 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR, 2006). Los resultados se presentan en la tabla 31, los cálculos se presentan en el anexo I.

Tabla 31. Composición y cantidad de agroquímico aplicado en el cultivo convencional

Agroquímicos utilizados	Elementos representativos dentro del agroquímico	Expresados como iones y/o compuestos	Cantidad total adicionada por hectárea (kg/ha)
Triple 15	Nitrógeno	Nitritos NO <sub>2</sub> <sup>+2</sup>	23,0
		Nitratos NO <sub>3</sub> <sup>+3</sup>	31,0
		Amonio NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	14,4
	Fósforo total	P	15,05
Curacrom	Organo fosforado	Principio activo	1,0

Fuente: El estudio con base en la metodología desarrollada

La información de los compuestos que se tienen en cuenta para realizar el cálculo de la huella hídrica gris se presenta en la tabla 32; la forma de expresar los compuestos contaminantes presenta una diferencia significativamente mayor cuando se realiza la expresión como compuestos y no como elementos individuales, el peso en gramos de un compuesto es mayor al de un elemento en su forma individual y esta relación se mantiene en la expresión de kg/ha. La cantidad total adicionada por hectárea se calculó con el peso del compuesto (ion), se justifica ya que es así como están expresados los contaminantes en la norma y por lo tanto guarda una mejor relación.

Tabla 32. Composición y cantidad de agroquímico aplicado en el área total del cultivo

Compuestos	Concentración máxima permitida en agua mg/L
Nitritos NO <sub>2</sub> <sup>+2</sup>	10
Potasio	100
Fosforo total	2

Fuente. El estudio con base en CAR (2006)

#### ✓ Huella Hídrica Gris Producción Ecológica

El agricultor no utiliza agroquímicos para la producción de arveja, sin embargo, se debe tener en cuenta que adiciona aproximadamente 100 kg de gallinaza para fertilizar, la cual contiene importantes niveles de nitrógeno debido a que proviene del estiércol de gallina, por lo tanto se tiene en cuenta estos compuesto y es expresado como nitritos, compuesto que incluye Acuerdo Número 43 del 17 (CAR, 2006), como se presenta en la tabla 33.



Tabla 33. Composición y cantidad de gallinaza aplicada en el cultivo ecológico

Producto orgánico utilizado	Elementos representativos del producto	Expresados como iones	Cantidad total adicionada por hectárea (kg/ha)
Gallinaza	Nitrógeno	Nitritos NO <sub>2</sub> <sup>+2</sup>	6,2

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

En la tabla 34., se presentan los resultados de la huella hídrica gris para los dos sistemas de producción.

Tabla 34. Resultados Huella Hídrica Gris

Sistema de producción	HHG (m <sup>3</sup> / ton)
Producción Convencional	2'506.250
Producción Ecológica	115.000

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

La huella hídrica gris expresa la contaminación que se provoca por el uso de agroquímicos en los cultivos, se calculó con base en los compuestos de degradación de los agroquímicos empleados en los cultivos, los cuales están relacionados con las variables más representativas de los principales tipos de contaminación, es este caso correspondes a contaminación orgánica (nitritos y fosforo total) y mineralización (potasio) de igual forma la ecuación incluye el valor máximo permitido de acuerdo con la normatividad vigente.

La huella hídrica gris indica la cantidad de agua que se requiere para disminuir la carga contaminante, sin embargo, el agricultor no realiza ningún tipo de tratamiento al agua y por lo tanto la disminución de la carga contaminante dependerá de las condiciones hidroclimáticas del sector y del tiempo de vida medio de los agroquímicos empleados.

El valor obtenido para la huella hídrica gris es un dato real (no modelado en el software), ya que, las cantidades que emplea el agricultor en el cultivo, se establecieron a partir de la visita en campo y se calcularon con base en la normatividad vigente. Sin embargo, de acuerdo con el IDEAM (2015), generalmente esta huella hídrica tiende a estar subestimada debido a que no todos los compuestos contaminantes están regulados y como consecuencia no se puede establecer una base de cálculo.

#### 7.2.3.4. Huella Hídrica Total - HHT

La huella hídrica total del cultivo de arveja corresponde a la relación dada para las tres categorías. En la tabla 35, se presentan los valores obtenidos para cada uno de los tres componentes de la huella hídrica total del cultivo de arveja en los dos sistemas de producción (convencional y ecológica).

Tabla 35. Síntesis de valores obtenidos para las categorías de la huella hídrica

Sistema de producción	HHV (m <sup>3</sup> / ton)	HHA (m <sup>3</sup> / ton)	HHG (m <sup>3</sup> / ton)	HHT (m <sup>3</sup> / ton)
Convencional	1505,3	2.500	2'506.250	2'510.255,3
Ecológica	1505,3	0	115.000	116.505,3

Fuente. El estudio con base en los cálculos modelados en el cropwat 8.0 de la FAO

Se puede afirmar que el volumen total de agua usado en el cultivo de arveja que no retorna a la cuenca con la calidad inicial corresponde a 2'510.255,3 m<sup>3</sup>/ton para el sistema de producción convencional y 116.505,3 m<sup>3</sup>/ton para el sistema de producción ecológico. Por lo tanto el cálculo de la huella hídrica permitió establecer que existe una apropiación de agua, que impacta la disponibilidad territorial de este recurso. De acuerdo con IDEAM (2015), siempre que exista un uso del agua para un proceso antrópico y una parte del volumen usado no retorna a la cuenca de donde fue extraída o retorna con una calidad diferente a la original hablamos de la apropiación humana de agua y por tanto huella hídrica refleja el impacto territorial del uso del agua en términos de la disponibilidad de agua, cantidad o calidad.

#### 7.2.4. Puntos críticos con base en la Huella Hídrica y sus categorías

Posterior al cálculo de la huella hídrica, se puede identificar que el sistema de producción convencional presenta tres puntos críticos, ya que, los valores obtenidos para la huella hídrica azul, huella hídrica gris y la huella hídrica total son considerablemente más altos que los obtenidos para las mismas huellas en el sistema de producción ecológico. Lo anterior es consecuencia principalmente del uso excesivo de agroquímicos sin recomendaciones técnicas, así como, también la captación de agua de fuentes superficiales, para actividades de fertilización; por lo tanto, afectaran directamente la cantidad (huella hídrica azul) y la calidad del agua (huella hídrica gris).

El valor de la huella hídrica verde es equivalente en los dos y corresponde a la dinámica del ciclo del agua y a las condiciones hidroclimáticas de la zona de estudio, que adicionalmente en la los estudios técnicos la oferta ha sido considerada como alta (tabla 36).

Tabla 36: Matriz comparativa por puntos críticos de acuerdo con la huella hídrica y sus tres categorías

Sistema de producción	HHV	HHA	HHG	HHT
Convencional	No es punto crítico	<b>Punto crítico</b>	<b>Punto crítico</b>	<b>Punto crítico</b>
Ecológica	No es punto crítico	No es punto crítico	No es punto crítico	No es punto crítico

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

Las características hidroclimáticas de la zona, y la no disponibilidad de fuentes de agua directa en las unidades de estudio, es un factor determinante y controla la productividad de los agroecosistemas, sin embargo, de acuerdo con los datos modelados, se tiene que la época de siembra de los cultivos permite un adecuado desarrollo de los cultivos, sin la necesidad de riego.

### 7.3. Sistema de indicadores hídricos

Los criterios del diagnóstico, permiten elegir dos categorías de análisis para la sustentabilidad y proponer seis indicadores; vale la pena mencionar que solo los indicadores funcionales están directamente relacionados con los puntos críticos encontrados, ya que, se corresponden a los aspectos de calidad y cantidad del recurso hídrico, adicionalmente la categoría de político e institucional, se propone como complemento para orientar el análisis desde el enfoque de la GIRH.

#### 7.3.1. Medición del sistema de indicadores

En la tabla 37, se presentan los valores obtenidos para cada uno de los indicadores propuestos, para los dos sistemas de producción. Los valores calculados para los indicadores se obtienen a partir de la metodología propuesta, su cálculo puede ser consultado en el anexo J.

Tabla 37. Matriz de síntesis de valores para cada indicador

Sistema de producción	IO	ID	ICA	IR	IFI	IG
Ecológica	0,044	0,4630	0,0406	0,0411	0,33	0,33
Convencional	0,044	1,3892	0,8854	0,8850	0,33	0,33

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

#### 7.3.2. Estandarización de los indicadores

La medición de los indicadores, en cada sistema productivo, se presentan como variables discretas, las cuales se estandarizaron con base en la metodología propuesta y se presentan en la tabla 38; seguido se propone una nueva matriz, que presenta estos valores estandarizados pero en categorías como se presenta en la tabla 39.

Tabla 38. Matriz de estandarización de los valores para los indicadores

Sistema de producción	IO	ID	ICA	IR	IFI	IG
Ecológica	4	3	4	4	1	1
Convencional	4	0	1	1	1	1

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

Tabla 39. Matriz de categorías para los indicadores estandarizados

SISTEMA	IO	ID	ICA	IR	IFI	IG
Sistema ecológico	Ideal	Alta	Ideal	Ideal	Baja	Baja
Sistema convencional	Ideal	Critica	Baja	Baja	Baja	Baja

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

Posteriormente se consolidó en una matriz el promedio ponderado para las dos unidades de análisis y se incluyó el sistema ideal tabla 40; finalmente a los promedios obtenidos se asigna una categoría e interpretación, que corresponde al sistema de indicadores hídricos, siguiendo la metodología propuesta, tabla 41.

Tabla 40. Matriz comparativa de los indicadores vs sistema ideal

SISTEMA	IO	ID	ICA	IR	IFI	IG	PROMEDIO
Sistema ecológico	4	3	4	4	3	3	2.8
Sistema convencional	4	0	1	1	3	3	1.4
Sistema ideal	4	4	4	4	4	4	4

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

Tabla 41. Matriz de categorías para el sistema de indicadores hídricos

SISTEMA DE PRODUCCION	CATEGORIA	INTERPRETACION
Convencional	Uso sustentable del recurso hídrico bajo	Se considera que el uso sustentable del recurso hídrico es muy bajo, no permite la disponibilidad en términos de cantidad y calidad dada la presencia de trazas de agroquímicos; la presencia institucional y la participación alrededor de la cultura del agua es poco frecuente.
Ecológico	Uso sustentable del recurso hídrico alto	Se considera que el uso sustentable del recurso hídrico es alto, permite la disponibilidad en términos de cantidad y calidad con trazas de bioinsumos; la presencia institucional y la participación alrededor de la cultura del agua es frecuente

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

### 7.3.3. Resultados obtenidos para el sistema de indicadores

El análisis de los resultados se realiza en el marco de la GIRH, con base en los 6 objetivos de la PNGIRH, de forma comparada, por lo tanto se presenta los valores del sistema de indicadores en los dos unidades de producción, a través, de dos matrices, una por componentes, tabla 42, otra por puntos críticos, tabla 43. Así mismo, se presenta un gráfico radial, que representa el sistema de indicadores para cada unidad de producción y el sistema ideal, figura 4.

Tabla 42. Matriz comparativa del desempeño por componentes

SISTEMA	IO	ID	ICA	IR	IFI	IG
Sistema ecológico	Equivalente	Mayor	Mayor	Mayor	Equivalente	Equivalente
Sistema convencional	Equivalente	Menor	Menor	Menor	Equivalente	Equivalente

Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

Tabla 43. Matriz comparativa de por puntos críticos

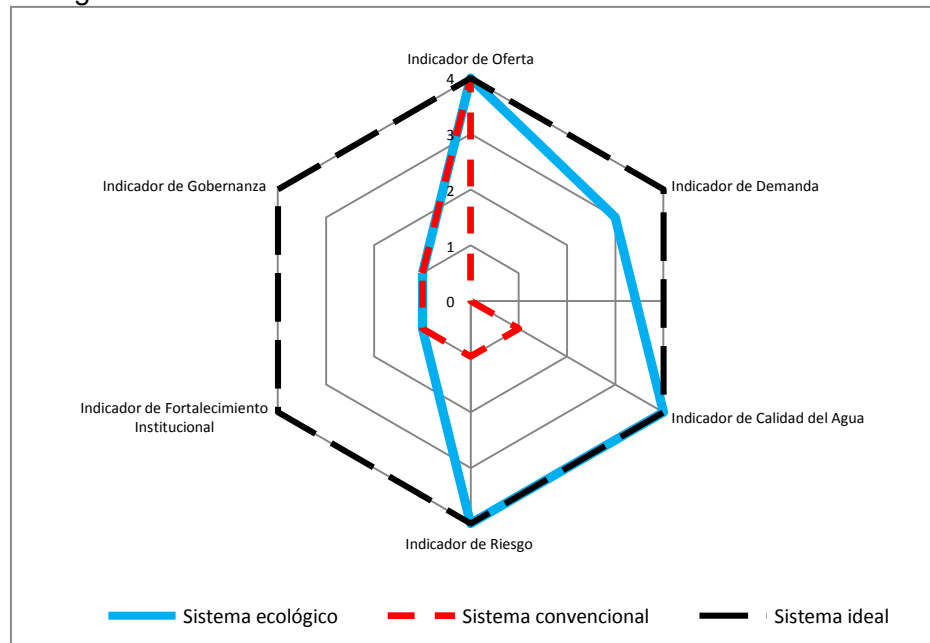
SISTEMA	IO	ID	ICA	IR	IFI	IG
Sistema ecológico					Punto crítico	Punto crítico
Sistema convencional		Punto crítico	Punto crítico	Punto crítico	Punto crítico	Punto crítico

Fuente El estudio con base en la metodología desarrollada

El sistema de indicadores hídricos, para las dos unidades de análisis, se presenta de forma conjunta y se compara con un sistema ideal, a través, de una gráfica con un diseño radial, la cual muestra los seis indicadores que representan el uso sustentable del agua en dos fincas de producción rural; se puede observar que el límites exterior representa el valor ideal de sustentabilidad y el intermedio el valor umbral; la línea negra punteada (- -): representa el sistema ideal, la línea azul (→): representa el sistema de producción ecológico y la línea punteada roja (- -): representa el sistema de producción convencional.

Por otra parte, la gráfica también permite observar los puntos críticos que se presentan en cada sistema de producción, de acuerdo con Sarandón et al., (2002), existe una distancia entre el sistema ideal y el sistema de análisis, que en este caso corresponde a los sistemas de producción convencional y ecológico.

Figura 4. Gráfico de red: Sistema de Indicadores Hídricos



Fuente. El estudio con base en la metodología desarrollada

#### 7.3.3.1. Sistema de producción convencional

En la figura 4., en una primera interpretación, se puede observar que para el sistema de producción convencional se presentan cinco puntos críticos, que corresponden a los indicadores de demanda, calidad, riesgo (coincide con los puntos críticos detectados en la caracterización, apropiación y uso del recurso hídrico, cuantificado, a través, de la huella hídrica), fortalecimiento institucional y gobernanza.

El uso sustentable del recurso hídrico, representado, a través, del sistema indicadores muestra uso sustentable del recurso hídrico bajo, ya que, las condiciones de cantidad y calidad, se ven alteradas radicalmente durante la actividad agrícola desarrollada, así como también los indicadores de la categoría

político e institucional, como consecuencia de la poca presencia de autoridades ambientales en el territorio; adicionalmente, se puede observar que el área que ocupa el conjunto de indicadores es significativamente menor, que el área ocupada por el sistema considerado como ideal.

#### 7.3.1.2. Sistema de Producción Ecológico

En la figura 4., en una primera interpretación, se puede observar que para el sistema de producción ecológico, se pueden considerar como puntos críticos los indicadores que corresponde a la categoría político e institucional, que al igual que en el sistema de producción convencional es consecuencia de la poca presencia de autoridades ambientales en el territorio rural.

Para los indicadores de la categoría funcional, se tiene que para los indicadores de oferta, calidad y riesgo se comportan como un sistema ideal; sin embargo, el indicador de demanda no tiene un comportamiento ideal, presente un desempeño alto, en relación al sistema ideal es de solo una unidad.

El uso sustentable del recurso hídrico, representado, a través, del sistema de indicadores muestra un manejo de sustentabilidad alta, ya que, el no uso de agroquímicos y el uso de agua lluvia, permite conservar las características de calidad y cantidad de forma favorable; sin embargo, se puede observar que la categoría político institucional es baja, resultado de la poca presencia de autoridades ambientales en el territorio.

De forma conjunta, en la figura 4., se puede interpretar que el área que abarca el sistema de indicadores de la producción ecológica es significativamente mayor que para la producción convencional. Puede notarse que los indicadores de la categoría funcional del sistema de producción ecológico, toma valores que están por encima (abarcen más área) del sistema de producción convencional; excepto el indicador de oferta, el desempeño de este es equivalente en los dos sistemas de producción; así mismo, se puede observar que los indicadores de la categoría político e institucional es equivalente en los dos sistemas.

## **8. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

### **8.1. Evaluación del uso sustentable del recurso hídrico**

Teniendo en cuenta los indicadores preliminares obtenidos, se puede afirmar que la presente investigación busca enfocar la medición de indicadores hídricos, con base en las interacciones que se dan durante un proceso agrícola (cultivo de arveja) y el manejo del recurso hídrico; si bien, la decisión puede ser considerada parcial, el estudio está limitado drásticamente por la disponibilidad de datos, tanto en fuentes secundarias (documentos) como en fuentes primarias (campo), por lo tanto, el sentido que toman los resultados es permitir tener información base en la vereda la Requilina y de esta forma lograr que otros proyectos pueden ser complementados, o que pueda ser la herramienta diagnóstica para el desarrollo de propuestas de evaluación de sustentabilidad, gracias a la propuesta metodológica.

#### **8.1.1. Índice de Oferta (IO)**

Este indicador presenta el mismo desempeño para los dos sistemas, muestra un comportamiento ideal; lo cual obedece a las características hidroclimáticas del área de estudio; por lo tanto, es independiente al modelo productivo. También, se puede afirmar que hay un alto potencial hídrico, no hay restricción en la oferta del recurso.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), establece en la PNGIRH, que para conservar los sistemas naturales y los procesos hidrológicos de los que depende la oferta de agua, se requiere de conocimiento, planificación y conservación; por lo tanto, aunque la oferta estimada para en la cuenca media del río Tunjuelo es alta; para poder conservarla, se requiere de iniciativas por parte del agricultor e instituciones (actores), que permitan mantener estas características en el sector a lo largo del tiempo.

#### **8.1.2. Índice de Demanda (ID)**

Este indicador en el sistema de producción convencional, presenta un desempeño crítico, como resultado de la decisión del productor, de hacer uso de agua superficial, para la preparación de agroquímicos, así mismo, este comportamiento se puede observar claramente en la gráfica, ya que, se genera un punto de inflexión que corresponde a cero.

En contraste, se tiene que la decisión del productor del sistema de producción ecológico, de no realizar captación de agua superficial, para la preparación de insumos, favorece significativamente el desempeño de indicador como se logra observar en la gráfica, ya que, la línea que representa este sistema, se visualiza cerca, a la línea que representa el sistema ideal.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), propone que en la PNGIRH, es necesario caracterizar, cuantificar y optimizar la demanda de agua, a través, de las estimaciones calculadas, se observa que el sistema de producción convencional demanda mayor cantidad de agua, debido a la época de siembra y a la necesidad de emplear agua como insumo para la preparación de agroquímicos utilizados durante el desarrollo del cultivo. El sistema de producción ecológico emplea agua lluvia como insumo, la época de siembra no exige adición de agua, por lo tanto, ocurre un uso más eficiente de este recurso, por lo tanto favorece significativamente el desempeño de este indicador, frente al sistema de producción convencional.

### 8.1.3. Índice de Calidad del Agua (ICA)

El indicador de calidad del agua, presenta un desempeño bajo en el sistema de producción convencional, lo anterior, obedece a la decisión del productor de emplear agroquímicos durante la producción, los cuales, generan alteración en la calidad del agua, y también contaminación por agroquímicos al ecosistema.

En contraste en el sistema de producción ecológico, se tiene que la decisión del productor de utilizar bioinsumos, favorece significativamente el desempeño de este indicador, como se presenta en la gráfica, ya que la línea que representa el sistema, se visualiza igual que la del sistema ideal.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), propone en la PNGIRH, que para mejorar la calidad del recurso hídrico se requiere de la reducción de agentes contaminantes, de acuerdo con las estimaciones calculadas y presentadas, a través, del indicador, se asume que la actividad agrícola de tipo convencional pone en alerta la calidad del agua, ya que, este indicador está representado por la huella hídrica gris que equivale al volumen de agua dulce necesario para asimilar la carga contaminante vertida a un cuerpo receptor por lo tanto, puede considerarse que expresa la reducción de la disponibilidad de agua por afectación a la calidad.

El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010), propone en la PNGIRH, que es necesario el monitoreo, seguimiento y evaluación de la calidad del agua, sin embargo, en ninguno de los dos sistemas se cuenta con información de análisis fisicoquímicos o microbiológicos, que puedan poner en evidencia la calidad del agua antes, durante y/o después del uso en la actividad agrícola; sin embargo, los datos con los que se calcularon los indicadores, en los dos sistemas, son datos de campo (suministrados por el agricultor). Se puede entonces suponer que la decisión del productor del sistema convencional, en usar agroquímicos, de forma permanente, afecta negativamente la calidad del agua, ya que, generarán residuos contaminantes de forma ocasional y/o permanente, por lo tanto, disminuirá la oferta de agua que cumpla con los estándares de calidad ya sea para uso agrícola, uso doméstico o para consumo humano.



#### 8.1.4. Índice de Riesgo (IR)

Este indicador comprende dos ejes importantes, involucra, aspectos relacionados con la cantidad y calidad, representada, a través, de la suma de las tres categorías de la HH, por lo tanto, se tiene que el desempeño de este indicador para el sistema de producción convencional es bajo, lo anterior coincide con el desempeño del ID y el ICA. La decisión que toma el productor de emplear agroquímicos y captar agua superficial, para la preparación de los insumos, tiene un efecto que no favorece el uso sustentable del recurso hídrico.

En contraste, se tiene que el desempeño de este indicador, en el sistema de producción ecológico, es ideal, como resultado de la decisión del agricultor de emplear bioinsumos y recolectar agua lluvia para la preparación de insumos, favorece significativamente el desempeño de indicador, ya que, la línea que representa este sistema, se visualiza igual que la del sistema ideal.

#### 8.1.5. Índice de Fortalecimiento Institucional (IFI)

El desempeño de este indicador en los dos sistemas de producción, es equivalente, el indicador a su vez, representa las quince líneas de acción que se proponen en la PNGIRH (El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), para lograr el objetivo; el desempeño, del indicador corresponde solo a un 33% de cumplimiento, por lo tanto se presenta un vacío del 67%, presentando debilidades en lo relacionado con la participación de los actores institucionales en el territorio.

El desempeño de este indicador no depende del modelo de producción, ni tampoco del productor, representa la ausencia o debilidad de las instituciones ambientales en el territorio rural. Se puede deducir que la institucionalidad no favorece el uso sustentable del recurso hídrico; por lo tanto, para lograr un mejor desempeño de este indicador, debe existir una correspondencia entre las instituciones y la comunidad presente en la vereda.

#### 8.1.6. Índice de Gobernanza (IG)

El desempeño de este indicador en los dos sistemas de producción, es equivalente, el indicador a su vez, representa las diez líneas de acción que se proponen en la PNGIRH (El Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010), para lograr el objetivo; el desempeño corresponde a un 33% de cumplimiento, por lo tanto se presenta un vacío del 67%, presentando debilidades en lo relacionado con la participación de los actores institucionales en el territorio, ya que, se identificó, que los agricultores participan, sin embargo, no cuentan con las suficientes herramientas para manejar los conflictos que se presentan en el territorio en relación con el recurso hídrico; por lo tanto es necesario comprometer a las instituciones para que realicen capacitación y acompañamiento de forma permanente a la comunidad de la vereda.

El desempeño de este indicador no depende del modelo de producción, ni tampoco del productor, representa la falta de compromiso de las instituciones para promover un aprovechamiento coordinado del uso del recurso hídrico. Por lo tanto para lograr un mejor desempeño en este indicador, los agricultores dependen esencialmente del compromiso de la autoridad local.

## **8.2. Evaluación del sistema de indicadores**

El sistema de indicadores propuestos, permitió evaluar estimaciones que se aproximan a entender la integralidad de la PNGIRH, a través, de la evaluación de sus seis objetivos, representados en dos categorías, una de tipo funcional (oferta, demanda, calidad y riesgo) y la otra de tipo político e institucional (fortaleza institucional y gobernanza). El sistema de producción ecológico presenta ventajas comparativas en la categoría funcional, frente al sistema de producción convencional; en contraste tenemos que el desempeño en la categoría político e institucional es bajo para los dos sistemas de producción.

El IO en los dos sistemas, presenta un desempeño ideal, y por lo tanto, un aporte favorable al sistema de indicadores, lo anterior obedece a las condiciones hidroclimáticas del área de estudio; al reconocer esta característica, se tiene entonces que no se presentan dificultades en la disponibilidad en términos de cantidad del recurso de forma natural; motivo por el cual se debe reconocer esta condición del ecosistema como una fuente hídrica natural, lo cual, a su vez pone en evidencia la necesidad de conservar las características de esta zona.

La información analizada desde los atributos del sistema de indicadores hídricos, muestra que en la producción ecológica se presenta un desempeño alto en términos de sustentabilidad, lo que podría atribuirse al uso de bioinsumos y al proceso de transición de producción convencional a ecológico. El desempeño crítico en la producción convencional en términos de sustentabilidad, podría estar relacionado con el uso de agroquímicos (fertilizantes e insecticidas) y en consecuencia puede estar afectando a corto, mediano y largo plazo la calidad del agua.

El desempeño favorable de los cuatro indicadores (IO, ID, ICA y IR), de la categoría funcional en el sistema ecológico, repercutieron de manera positiva al sistema de indicadores hídricos. En este sentido, la calidad del agua en este sistema, fortalecerá el equilibrio del ecosistema, minimizando así la dependencia de insumos externos. Por el contrario, estos mismos indicadores (excepto el IO), presentaron un desempeño crítico para el ID y bajo para los indicadores ICA y IR, por lo tanto no favorecerá el equilibrio de este ecosistema. Por otra parte los dos sistemas presentan un desempeño bajo en los dos indicadores (IFI y IG) de la categoría político e institucional, que dependen esencialmente de la autoridad ambiental de la localidad. Por lo tanto, es conveniente promover actividades encaminadas a la transición hacia modelos de producción de agricultura ecológica, ya que, en este modelo, el desempeño de los indicadores que dependen de la

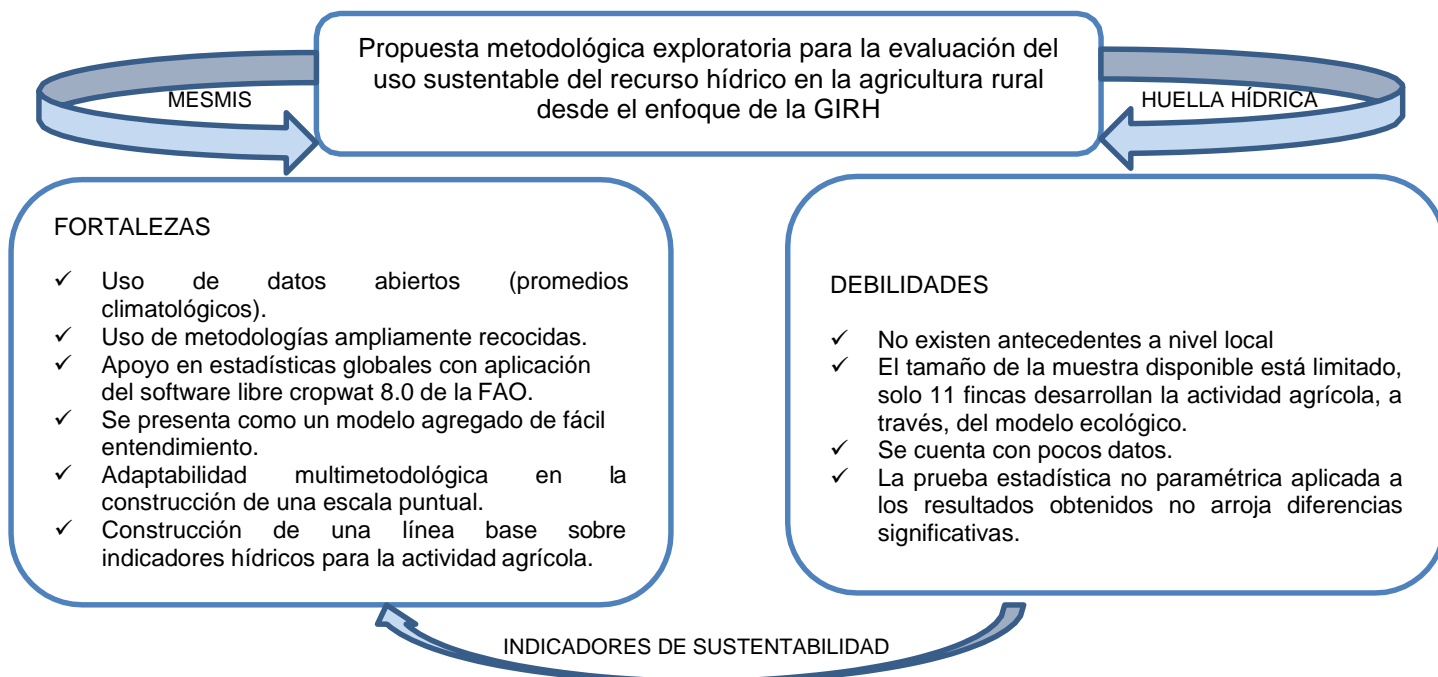
toma de decisiones del productor son los que más aportan significativamente al sistema.

Los dos sistemas de producción, requieren un mínimo tecnológico, que permita mejorar algunos aspectos del proceso productivo, también, requieren de apoyo institucional y cumplimiento de las políticas públicas. Así mismo, se debe establecer una línea base, de las características fisicoquímicas del agua en el sector, para poder contar con datos de comparabilidad, a través, del tiempo.

### 8.3. Discusión con base en la propuesta metodológica

Al finalizar la adaptación y desarrollo de la metodología, es conveniente presentar las fortalezas y debilidades (Figura 5), así como también, discutir brevemente la construcción y aplicación de indicadores para evaluar el uso sustentable del recurso hídrico en sistemas de producción rural de modelos antagónicos.

Figura 5. Fortalezas y debilidades de la propuesta metodológica



Fuente: El estudio con base en la metodología desarrollada

En términos generales, la metodología desarrollada fue una herramienta adecuada para evaluar los puntos críticos del uso sustentable del recurso hídrico en dos sistemas de producción antagónicos, lo que significó, un avance importante para establecer el objetivo de evaluar de forma comparada entre un modelo de producción y otro. Así mismo, se logró la transformación de aspectos complejos en valores claros, de fácil interpretación y generales que conllevan a la posibilidad de poder evaluar el impacto que tiene los modelos de producción desarrollados sobre el uso sustentable del recurso hídrico. En base a esto se generó una discusión

respecto a los indicadores utilizados, su aplicabilidad y dificultades a la hora de definirlos.

En este sentido, puede decirse que el desarrollo metodológico adaptado, permitió establecer indicadores desde el enfoque de la GIRH, los cuales se articularon, a través, de la PNGIRH, a partir de sus seis objetivos. Por un lado, se consideró la herramienta de Huella Hídrica, para compensar la dificultad de falta de datos, así, como también la posibilidad de utilizar los datos de promedios climatológicos del IDEAM, y algunos pocos que se recolectaron en campo; ya que, la modelación, a través, del software cropwat 8.0 para windows permite alimentar la información, o escogerla de acuerdo con su base de datos. Posteriormente emplear los valores obtenidos de la huella hídrica, como insumo para poder establecer la base de cálculo de tres de los cuatro indicadores de la categoría funcional (datos cuantitativos), facilitó el desarrollo de la herramienta metodológica MESMIS. Para los indicadores de la categoría político e institucional, que se construyeron de forma cualitativa, a través, de fuentes primarias y secundarias, que finalmente se logran estandarización empleando la propuesta de indicadores de sustentabilidad de acuerdo con lo propuesto por Sarandón et al., (2014).

Vale la pena hablar sobre la escala de medición y estandarización de los indicadores usados para la comparación en la presente investigación, ya que, la escala propuesta no fue ni amplia, ni muy pequeña, fue adecuada porque presentó una escala de medición con cinco valores que representaban categorías que variaron entre crítica (0) a ideal (5); en términos generales resultó sencilla de construir y apropiada para el objetivo propuesto.

Otro aspecto importante de la presente investigación, son las fuentes de información empleadas; de manera general puede decirse que se usaron datos cualitativos para la categoría política e institucional y datos cuantitativos para la categoría funcional, para esta última categoría se tomaron datos históricos de promedio climatológicos en la zona; también se emplearon datos hidroclimáticos para el IO y que corresponden a las características de la cuenca de la zona de estudio; lo anterior con el propósito de que cualquier individuo o institución pueda acceder a los datos abiertos del gobierno colombiano.

Para finalizar, se pretende que este documento sirva de antecedente, para promover el modelo de producción ecológica en la zona, ya que, pone en evidencia un mayor desempeño del uso sustentable del recurso hídrico, respecto al modelo de producción convencional.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 9. 1. Conclusiones

En este trabajo de investigación se propuso evaluar comparativamente el uso sustentable del recurso hídrico, en dos sistemas de producción rural antagónicos, de esta manera realizar un aporte en cuanto a la construcción y uso de indicadores adaptados a condiciones locales. Luego de realizar la caracterización de los dos sistemas de producción rural, la construcción y medición de los indicadores, se puede concluir que hay claras diferencias en el uso sustentable del modelo de producción convencional frente al modelo de producción ecológico.

Con base en la información relativa a la estructura y función de las dos fincas de análisis, se encuentra que en común presentan bajo nivel tecnológico, no poseen sistema de riego (dependen esencialmente del agua lluvia), son pequeños productores, debido a la baja asistencia técnica en la zona emplean conocimiento tradicional campesino, presentan desconocimiento del estado actual y manejo apropiado de los recursos naturales tales como agua, aire, flora, fauna y suelo.

Teniendo en cuenta los datos obtenidos para la huella hídrica y analizando los dos sistemas de producción, puede decirse que el sistema de producción convencional presenta tres puntos críticos, ya que, los valores obtenidos para la huella hídrica azul, huella hídrica gris y huella hídrica total son considerablemente más altos que los obtenidos para las mismas huellas en el sistema de producción ecológico. Lo anterior es consecuencia principalmente del uso excesivo de agroquímicos sin recomendaciones técnicas, así como, también la captación de agua de fuentes superficiales; afectando directamente la cantidad (huella hídrica azul) y la calidad del agua (huella hídrica gris).

Teniendo en cuenta, los resultados obtenidos para cada indicador y analizando las dos categorías juntas para ambos sistemas, puede decirse que de acuerdo con el desempeño de los indicadores hídricos está representado por seis ejes, de los cuales, los indicadores IFI y IG, no dependen de la toma de decisiones del productor, si no, de toma de decisiones de actores institucionales; los indicadores ID, ICA y IR, dependen de la toma de decisiones del productor y el indicador IO depende de las condiciones naturales (hidroclimáticas) del sector.

La metodología desarrollada indica que el sistema de producción convencional presenta una sustentabilidad hídrica baja; dada principalmente por el uso de agroquímicos de forma inapropiada, ya que, estos insumos son aplicados sin criterios técnicos, así mismo, la baja presencia institucional no favorece los procesos de sustentabilidad.

La metodología desarrollada indica que el sistema de producción ecológico presenta una sustentabilidad hídrica alta, la cual, está dada principalmente por

aportes significativos que genera el modelo, ya que, la institucionalidad es un factor que no aporta significativamente para el sistema de indicadores hídricos.

La evaluación del uso sustentable del recurso hídrico, a través, del sistema de indicadores hídricos propuesto, da cuenta de diferencias significativas, entre un sistema y otro; se puede afirmar que el sistema de producción ecológico realiza una inversión económica menor en insumos, ya que, utiliza insumos orgánicos (gallinaza y humus), que adicionalmente no se verá afectada la calidad del producto en relación a trazas de pesticidas; así mismo, a mediano y largo plazo se presentará un menor deterioro de los recursos naturales (agua, suelo, aire, flora y fauna).

Los indicadores de la categoría funcional, por cuestiones del modelo de producción tienden a ser mejores en el sistema ecológico; por el contrario en el sistema convencional, el uso de insumos químicos, tienden a disminuir la diversidad en general. En este sentido Gascó (2001) indicó que la mayor actividad biológica en los suelos se ha registrado cuando existen menores niveles de degradación y contaminación química.

## **9.2. Recomendaciones**

La consolidación del presente documento, es el resultado de la adaptación de diferentes metodologías e instrumentos, por lo tanto la información aquí expuesta puede considerarse como una línea base; que requiere del mejoramiento por lo tanto se recomienda:

- ✓ Es necesario proporcionar un complemento a la metodología con el establecimiento de categorías sociales, culturales y económicas que estén relacionadas con la apropiación y el uso del recurso hídrico. Esto requiere de un trabajo interinstitucional en apoyo con la Alcaldía Local, Consejo Local de Planeación, Junta Administradora Local de la localidad de Usme y otras entidades que tengan dentro de sus funciones el diagnóstico, trabajo comunitario y la implementación de prácticas sociales en la población.
- ✓ Es necesario incluir análisis de las propiedades fisicoquímicas de las fuentes hídricas y de los suelos presentes en las unidades de estudio.
- ✓ Se requiere de un seguimiento al uso de insumos químicos empleados, a través, del acompañamiento técnico.
- ✓ Para la protección de la cuenca del río Tunjuelo, en el sector rural se requiere de la articulación de todas las instituciones que tienen jurisdicción sobre el sector, de tal forma, que se controle de forma más eficiente la ocupación de esta área teniendo en cuenta la cercanía a los ecosistemas de alta montaña.

- ✓ Estimular iniciativas para la transición de modelos de producción convencional hacia modelos de producción ecológicos, ya que, en la vereda existen propuestas exitosas que se encuentra en consolidación; lo anterior gracias a que este modelo productivo viable, desde la sustentabilidad del recurso hídrico
- ✓ Replicar la metodología empleada en esta investigación, en otras fincas del sector que presenten características similares, para obtener más datos que faciliten la comparación entre los dos sistemas de producción. Así mismo, aplicar una prueba estadística para identificar si se presentan diferencias significativas entre los dos sistemas de producción de análisis.
- ✓ Para la presente investigación no se logró comprobar si existe diferencias significativas entre los datos obtenidos para el sistema de indicadores, ya que, aunque se aplicó la prueba no paramétrica de Wilcoxon, no se logra obtener el valor de t, ya que, los datos obtenidos, permiten llegar hasta el paso 3, de un total de 6. Ver anexo J.

## 10. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abihaggle, C. y Day, J. (2004). *Agua y sociedad: Un ensayo económico sobre la política hídrica*. Mendoza, Universidad Nacional de Cuyo. Argentina.
- Acevedo, A. (2009). *¿Cómo evaluar el nivel de sostenibilidad de un programa agroecológico?*. Universidad Nacional. Bogotá. Colombia.
- Acevedo, A., y Angarita, A. (2013). *Metodología para la evaluación de sustentabilidad a partir de indicadores locales para el diseño y desarrollo de programas agroecológicos – MESILPA*. Bogotá, Colombia.
- Alonso, J. (2002). *El estudio de caso simple: Un diseño de investigación cualitativa*. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias Políticas y Relaciones Internacionales.
- Alvarado, S. (1996). *Enfoques de la Investigación en Ciencias Sociales. Su Perspectiva Epistemológica y Metodológica*. Módulo I Conceptualización. Centro Internacional de Educación y Desarrollo Humano. CINDE.
- Arévalo, D. (2012). *Huella Hídrica Colombia*. Recuperado de <http://www.huellahidrica.org/Reports/Arevalo-2012-HuellaHidricaColombia.pdf>
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2000). Plan de ordenamiento de Bogotá.
- Alcaldía Mayor de Bogotá. (2009). Agenda ambiental local 5 Usme. Bogotá.
- Alcaldía Local de Usme. (2013). Plan Ambiental Local de Usme 2013 – 2016. Recuperado de <http://ambientebogota.gov.co/documents/10157/2883159/PAL+USME+2013-2016.pdf>
- Alcaldía Local de Usme. (2017). Plan Ambiental Local de Usme 2017 – 2020. Recuperado de <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-busqueda/plan-ambiental-local-br-localidad-de-usme-br-2017-2020>.
- Altieri, M. (1999). *Agroecología: bases científicas para una agricultura sustentable*. Montevideo: Nordan-Comunidad.
- Arnés, E. (2011). *Desarrollo de la metodología de evaluación de sostenibilidad de los campesinos de montaña en San José de Cusmapa (Nicaragua)*. (Tesis de maestría). Madriz, Nicaragua.
- Astier, M., Masera, O., y Galván-Miyoshi, Y. (2008.). *Evaluación de sustentabilidad. Un enfoque dinámico y multidimensional. Formulación de indicadores socio-ambientales para evaluaciones de sustentabilidad de*



*sistemas de manejo complejos*. México. Editorial Mundiprensa – GIRA – UNAM.

Bonilla, C. y León, Y. (2016). *Propuesta metodológica para indicadores ambientales del recurso hídrico asociado a sistemas agrícolas de Fómeque, Cundinamarca*. (Tesis de maestría). Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Bogotá, Colombia.

Bossel, H. (1999). *Indicators for Sustainable Development: Theory, Method, Applications*. Canada. Published by the International Institute for Sustainable Development. Recuperado de <https://www.iisd.org/pdf/balatonreport.pdf>

Carvajal, A. y Anaya, P. (2008). *Agroecología. Corporación Autónoma Regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga*. Bucaramanga Santander.

Cárdenas, L. (1998). *Definición de un marco teórico para comprender el concepto del desarrollo sustentable*. Revista INVI, 13(33).

Castellanos, L. (2016). *Desarrollo rural: caso vereda Requilina en la localidad de Usme, Bogotá Colombia*. Revista Chakiñan, 1. 99.

Cerón, W., Escobar, Y., y Trujillo, A. (2011). *Modelo para el monitoreo y seguimiento de indicadores de sostenibilidad del recurso hídrico en el sector agrícola*. Revista Colombiana de Geografía. 20 (2).

Cervera Gómez, Luis Ernesto. (2007). *Indicadores de uso sustentable del agua en Ciudad Juárez, Chihuahua*. Estudios fronterizos, 8(16), 9-41. Recuperado en 26 de septiembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-69612007000200001&lng=es&tlng=e](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-69612007000200001&lng=es&tlng=e)

Comisión Mundial del Medio Ambiente y Desarrollo - CMMAD. (1987). *Nuestro Futuro Común. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad - CONABIO (2006). Capital natural y bienestar social*. Comisión Nacional para el conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México, D.F.

Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR (2006). Artículo Número 43 del 17 de Octubre. Recuperado de <http://oab2.ambientebogota.gov.co/es/documentacion-e-investigaciones/resultado-busqueda/acuerdo-no-43-del-17-de-octubre-de-2006>

- Corredor, R. (2013). Dinámica de la construcción por usos: Localidad de Usme. Bogotá. Recuperado de <https://www.catastrobogota.gov.co/sites/default/files/20.pdf>.
- Cortés, Ana Elizabeth, Oyarzún, Ricardo, Kretschmer, Nicole, Chaves, Henrique, Soto, Guido, Soto, Manuel, Amézaga, Jaime, Oyarzún, Jorge, Rötting, Tobias, Señoret, Michelle, & Maturana, Hugo. (2012). *Application of the Watershed Sustainability Index to the Elqui river basin, North-Central Chile*. Obras y proyectos, (12), 57-69. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-28132012000200005>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística - DANE (2015). Insumos y factores asociados a la producción agropecuaria. Boletín mensual. No 33.
- Díaz, H. (2014). *Formulación del modelo de ecomapas en agrocadenas de plantas ornamentales en San Antonio del Tequendama*. Bogotá D.C. (Tesis de pregrado). Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Bogotá, Colombia.
- Dourojeanni, A., Jouravlev, A. y Chávez, G. (2002). *Gestión del Agua a Nivel de Cuencas: Teoría y Práctica*. Santiago de Chile: División de Recursos Naturales e Infraestructura.
- Escobar, G., y Berdegué, J. (1990). *Tipificación de sistemas de producción agrícola*. Santiago de Chile. Editorial Gráfica Andes Ltda.
- EPAM S.A. y EAAB, (2014). Desarrollo y validación de la evaluación regional del agua en la cuenca hidrográfica del río Tunjuelo. Bogotá. Recuperado de [file:///C:/Users/YAMY/Downloads/Informe\\_final\\_de\\_la\\_evaluacion\\_regional\\_de\\_agua\\_producto\\_5.pdf](file:///C:/Users/YAMY/Downloads/Informe_final_de_la_evaluacion_regional_de_agua_producto_5.pdf)
- FAO. (2013). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Recuperado de [http://www.fao.org/nr/water/infores\\_databases\\_cropwat.html](http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html).
- Fernández, V., Lastra, X. y Tolón, A. (2013). *Huella hídrica y sostenibilidad del uso de los recursos hídricos*. Revista Electrónica de Medio Ambiente. 10 (1). 56 – 86. Recuperado de <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-41205/61articulo.pdf>
- Forero, J. (1999). *Economía y sociedad rural en los andes colombianos*. Bogotá. Colombia.
- Fontana, M. (2015). *Aportes para la evaluación de la sustentabilidad, a partir de la comparación de dos sistemas agrícolas de San Carlos, Mendoza*. (Tesis de Maestría). Universidad de Cuyo. Mendoza, Argentina. Recuperado de [http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos\\_digitales/5438/fontana-agr.pdf](http://bdigital.uncu.edu.ar/objetos_digitales/5438/fontana-agr.pdf)

- Gallopín, G. (2003). *Sostenibilidad y desarrollo sostenible: un enfoque sistémico*. ONU: División de Desarrollo Sostenible y Asentamientos Humanos CEPAL.
- García Lirios, Cruz, Carreón Guillén, Javier, Quintero Soto, María Luisa. (2016) *Dimensiones de gobernanza para la sustentabilidad hídrica*. Revista Pueblos y Fronteras Digital [en línea] 2015, 10 (Diciembre-Sin mes) [Fecha de consulta: 27 de septiembre de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=90643038009>> ISSN 1870-4115
- Gascó, M. (2001). *El suelo como recurso en: Agroecología y desarrollo. Aproximación a los fundamentos agroecológicos para la gestión sustentable de agrosistemas mediterráneos*. Labrador MJ, Altieri MA (coord) Mundi-Prensa. Madrid. 566.
- Gleick, H., Postel, S., & Morrison, J. (1996). *The Sustainable Use of Water in the Lower Colorado River Basin, The Pacific Institute for Studies in Development, Environment and Security*, Oakland, California.
- Global Water Paternship (2000). *Manejo integrado de recursos hídricos. Asociación Mundial del Agua. Comité de Consejo Técnico (TAC). Tac Background Papers N° 4.*
- Global Water Paternship (2009). *Manual para la Gestión Integrada de Recursos Hídrico en Cuencas*. Global Water Paternship y Red Internacional of Basin Organization.
- González Ávila, María Eugenia, & Arzaluz Solano, María del Socorro. (2011). *El Programa de Cultura del Agua en el noreste de México: ¿Concepto utilitario, herramienta sustentable o requisito administrativo?*. Región y sociedad, 23(51), 123-160. Recuperado en 01 de octubre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1870-39252011000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-39252011000200005&lng=es&tlng=es)
- González, W. (2017). *Sustentabilidad y recurso hídrico: la agricultura en unidades campesinas en el departamento de Boyacá*. Revista Entornos. 30 (1).
- Guhl Nannetti, Ernesto. (2013). *La región hídrica de Bogotá*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 37(144), 327-341. Retrieved September 26, 2018, from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0370-39082013000300005&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0370-39082013000300005&lng=en&tlng=es).
- Guzmán, C. (2016). *Generación de indicadores de sostenibilidad en pequeños sistemas de producción de caña en la vereda pilaca, municipio sasaima, Cundinamarca, Colombia*. (Tesis de maestría). Universidad de Manizales, Colombia. Recuperado de <http://ridum.umanizales.edu.co:8080/xmlui/bitstream/handle/6789/3171/Carlos%20Hernan%20Guzman%20Torres%202017.pdf?sequence=1&isAllowed>

- Guzmán, G., González, M. y Sevilla, E. (2000). *Introducción a la agroecología como desarrollo rural sostenible*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- Hart, R. (1979). *Agroecosistemas conceptos básicos*. Turrialba - Costa Rica.
- Hernández, R., Fernández, C., y Batista, P. (2003). *Metodología de la investigación*. México. Mc Graw Hill.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., & Mekonnen, M. M. (2011). The water footprint network assessment manual: Setting de global standard. London: Earthscan. Recuperado de [http://es.watershedconnect.org/documents/water\\_footprint\\_assessment\\_manual\\_setting\\_the\\_global\\_standard](http://es.watershedconnect.org/documents/water_footprint_assessment_manual_setting_the_global_standard).
- Hurtado, J. (2000). *Metodología de la investigación holística*. Instituto Universitario de Tecnología de Caripito. Caracas, Venezuela. Editorial Fundación Sypal.
- IDEAM. Tiempo y Clima. Promedios climatológicos 1981 a 2010. Recuperado de <http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/clima>.
- IDEAM (2011). Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo. Recuperado de [file:///C:/Users/YAMY/Downloads/CARACTERIZACION\\_CLIMATICA\\_CORRECCION\\_FOPAECED.pdf](file:///C:/Users/YAMY/Downloads/CARACTERIZACION_CLIMATICA_CORRECCION_FOPAECED.pdf)
- IDEAM. (2015). Estudio Nacional del Agua. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA\\_2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023080/ENA_2014.pdf)
- IDEAM. (2015). Evaluación multisectorial de la huella hídrica en Colombia. Recuperado de [http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023272/HH\\_ENA2014.pdf](http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023272/HH_ENA2014.pdf)
- IGAC (2000). *Estudio General de Suelos y Zonificación de Tierras Departamento de Cundinamarca*, Tomo I, II y III.
- International Network of Basin Organization, INBO (2009). Handbook for the use of IWRM key performance indicators in African transbordering basins. Recuperado de <https://estrucplan.com.ar/articulos/indicadores-para-el-monitoreo-y-evaluacion-hacia-la-girh/>
- León, T. (2007). *Medio Ambiente, Tecnología y Modelos de Agricultura en Colombia. Hombre y Arcilla*. Bogotá. Colombia. Editorial ECOES Ediciones.
- Linares, M., y Melo, L. (2015). *Evaluación de la huella hídrica del cultivo de fresa en una finca del municipio de Sibaté, Cundinamarca*. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle, Bogotá, Colombia.

- Malagón, R., y Prager, M. (2001). *El enfoque de sistemas: una opción para el análisis de las unidades de producción agrícolas*. Palmira, Colombia.
- Masera, O., Astier, M., y López-Ridaura, S. (1999). *Sustentabilidad y Manejo de Recursos Naturales. El marco de evaluación MESMIS*. México. Editorial Mundiprensa – GIRA – UNAM.
- Maynard, Isabella Ferreira nascimento., Cruz, Marcus Aurélio Soares, & Gomes, Laura Jane. (2017). *Applying a sustainability index to the japatuba river watershed in sergipe state*. *Ambiente & Sociedade*, 20(2), 201-220. <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4422asoc0057r1v2022017>
- Mebratu, D. (1998). *Sustainability and sustainable development: historical and conceptual review*. *Environmental impact assessment review*, 18(6), 493-520.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (2002). Reglamentación para productos agropecuarios. Resolución No. 0074. Recuperado de [https://www.minagricultura.gov.co/tramites-servicios/Documents/Reglamento\\_para\\_la\\_produccion\\_Organica.pdf](https://www.minagricultura.gov.co/tramites-servicios/Documents/Reglamento_para_la_produccion_Organica.pdf)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2002). *Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña colombiana*. Primera edición.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). *Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico*. Recuperado de [http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4\\_uibd.nsf/2497231727A088B205257CEB005CDF57/\\$FILE/1\\_Pol%C3%ADticaNacionalGesti%C3%B3nIntegralRecursoH%C3%ADrico.pdf](http://www2.congreso.gob.pe/sicr/cendocbib/con4_uibd.nsf/2497231727A088B205257CEB005CDF57/$FILE/1_Pol%C3%ADticaNacionalGesti%C3%B3nIntegralRecursoH%C3%ADrico.pdf)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Decreto 3930. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec\\_3930\\_2010.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/normativa/decretos/2010/dec_3930_2010.pdf)
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo (2014). Guía técnica para la formulación de planes de ordenamiento del recurso hídrico. Recuperado de [http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/GUIA\\_TECNICA\\_PORH.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/Plan-de-ordenamiento-del-Recurso-Hidrico/GUIA_TECNICA_PORH.pdf)
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2010). *Programa para el manejo sostenible y restauración de ecosistemas de alta montaña colombiana*. Primera edición.

- Motta, R (2016). *La gobernanza del agua y la participación ciudadana en Bogotá*. Revista republicana. 21.
- Müller, S. (1996). *¿Cómo medir la sostenibilidad? Una propuesta para el área de la agricultura y de los recursos naturales*. San José.
- Nieto, M., Cardona, L., & Agudelo, C. (2015). *Análisis de servicios ecosistémicos. Provisión y regulación hídrica*. En: Ungar, P. (ed.) (2015). Hojas de ruta. Guías para el estudio socioecológico de la alta montaña en Colombia. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Palacios-Vélez, Oscar Luis, y Escobar-Villagrán, Bernardo Samuel. (2016). *La sustentabilidad de la agricultura de riego ante la sobreexplotación de acuíferos*. Tecnología y ciencias del agua, 7(2), 5-16. Recuperado en 26 de septiembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-24222016000200005&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-24222016000200005&lng=es&tlng=es)
- Peña, P., y Torres, A. (2015). Evaluación de la huella hídrica para el cultivo de palma de aceite en la finca villa Beatriz del municipio de zona bananera, departamento del Magdalena. (Tesis de pregrado). Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia
- Pérez, M., y Villamil, E. (2018). *De las territorialidades urbano-rurales a las transformaciones del paisaje: un estudio de caso en la vereda la Requilina, localidad de Usme, sur de la ciudad de Bogotá (Colombia), 1985 – 2016*. Revista desenvolvimiento, fronteiras e cidadania, 2 (1). 69-74.
- Sánchez Cohen, Ignacio, Catalán Valencia, Ernesto, González Cervantes, Guillermo, Estrada Avalos, Juan, & García Arellano, David. (2006). *Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. Agricultura técnica en México*, 32(3), 333-340. Recuperado en 26 de septiembre de 2018, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0568-25172006000300009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0568-25172006000300009&lng=es&tlng=es)
- Sánchez, J. (2016). *Mineralogía y génesis de los suelos desarrollados sobre materiales no consolidados en el abanico diluvial de Fusagasuga, Colombia*. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Santana, N., y Medina, N (2007). *Alcances de la planificación predial en la planificación local y regional: los planes de manejo predial como punto de partida para formulación de programas de Asistencia Técnica Agropecuaria y Ambiental en la localidad de Sumapaz*. (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Javeriana. Bogotá, Colombia. Recuperado de <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/211/eam19.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Sarandón, J., (1998). *The development and use of sustainability indicators: a need for organic agricultura evaluation*. XII International Scientific Conference IFOAM 1998. 16/19 Noviembre 1998, Mar del Plata, Argentina: p. 135.
- Sarandón, J., Zuluaga, M., Cieza, R., Gomez, C., Janjetic, L., y Negrete, E. (2002). *Evaluación de la sustentabilidad de sistemas agrícolas de fincas en misiones, argentina, mediante el uso de indicadores*. Revista Agroecología 1. Recuperado de file:///C:/Users/YAMY/Downloads/14-Texto%20del%20art%C3%ADculo-36-1-10-20061227%20(2).pdf
- Sarandón, J., y Flores, C., (2009). *Evaluación de la sustentabilidad de un proceso de transición agroecológica en sistemas de producción hortícolas familiares del Partido de la Plata, Buenos Aires, Argentina*. Universidad Nacional de la Plata, Facultad de ciencias agrarias y forestales. Revista Agricultura Familiar, Agroecología y Territorio. Vol. 114.
- Sarandón, J., Flores, C., Gargoloff, A., y Blandi, M. (2014). *Agroecología: bases teóricas para el diseño y manejo de Agroecosistemas sustentable*. Buenos Aires, Argentina. Editorial de la Universidad de La Plata. Recuperado de <https://www.mec.gub.uy/innovaportal/file/75868/1/agroecologia.pdf>
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2009). Diagnóstico de las áreas rurales de Bogotá, D.C. Recuperado de file:///D:/Downloads/C017\_Tomo%20III\_Vol%202\_Localidad%20de%20Usme.pdf
- Secretaría Distrital de Ambiente (2011). Revisión de las categorías de manejo de las áreas protegidas del orden distrital ubicadas en la zona rural de Usme y Ciudad Bolívar.
- Secretaría Distrital de Ambiente. (2010). Diagnóstico POMCA Tunjuelo. Recuperado de <http://oab.ambientebogota.gov.co/es/el-observatorio-y-las-localidades/documentos-tunjuelito/diagnostico-pomca-tunjuelito>.
- Sevilla Guzmán, E.; Woodgate, G. (1997). *Desarrollo Rural Sustentable: desde la Agricultura Industrial hacia la Agroecología*. En M Redclift y M Woodgate (Ed). The International Handbook of Environmental Sociology, p. 83-101: London.
- Silva, L. y Ramírez, O. (2017). *Evaluación de agroecosistemas mediante indicadores de sostenibilidad en San José de las Lajas, provincia de Mayabeque, Cuba*. Revista Luna Azul. 44
- Sosa, Y. y Bonilla, J. (2017). *Plan de manejo ambiental de la vereda la Requilina ubicada en la localidad de Usme, Bogotá D.C.* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Abierta y a Distancia, Bogotá, Colombia. Recuperado de

<https://stadium.unad.edu.co/preview/UNAD.php?url=/bitstream/10596/14304/3/1013661379.pdf>

- Tovar-Hernández, Naisly Ada, Trujillo-González, Juan Manuel, Muñoz-Yáñez, Sergio Iván, Torres-Mora, Marco Aurelio, y Zárata, Erika. (2017). *Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de arroz y palma de aceite en la cuenca del río Guayuriba (Meta, Colombia), a través de la evaluación de huella hídrica*. ORINOQUIA, 21(1), 52-63. <https://dx.doi.org/10.22579/20112629.394>
- United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization UNESCO. (2017). Informe mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017 – Aguas Residuales el recurso desaprovechado. Paris, Francia. Recuperado de <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000247647>
- Varela, M. (2010). *Evaluación de Sistemas de Producción Agroecológicos incorporando indicadores de sostenibilidad en la sabana de Bogotá*. (Tesis de maestría). Universidad Nacional de Colombia. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/8822/1/905019.2010.pdf>
- Vargas, O. (2013). *Disturbios en los páramos. En: Visión socioecosistémica de los páramos y la alta montaña colombiana: memorias del proceso de definición de criterios para la delimitación de páramos*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt. Recuperado de file:///C:/Users/YAMY/Downloads/vision\_socioecosistemica\_paramos.pdf
- Valdés, Y. y Villalejo, V. (2017). *La gestión integrada de los recursos hídricos: una necesidad de estos tiempos*. Revista Ingeniería Hidráulica y Ambiental, 39 (1). 58 -72. Recuperado de <http://scielo.sld.cu/pdf/riha/v39n1/riha05118.pdf>
- Villegas, C. (2010). *Gestión ambiental en proyectos de desarrollo*. Facultad de minas. Universidad Nacional de Colombia de Medellín.
- WWAP. (2017) *Programa Mundial de Evaluación de los Recursos Hídricos de las Naciones Unidas*. 2017. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2017. Aguas residuales: El recurso desaprovechado. París, UNESCO. Recuperado de <http://www.unesco.org/new/es/natural->



sciences/environment/water/wwap/wwdr/2017-wastewater-the-untapped-resource/

Zamudio Rodríguez, Carmen. (2012). *Gobernabilidad sobre el recurso hídrico en Colombia: entre avances y retos*. *Gestión y Ambiente* [en línea], 15 (Diciembre): [Fecha de consulta: 27 de septiembre de 2018] Disponible en:<<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169424893007>> ISSN 0124-177X

**Anexo A:** Registro Fotográfico

Imagen No.1. Panorámica de la unidad rural tipo finca convencional: área de cultivo



Imagen No 2. Panorámica de la unidad rural tipo finca ecológica: área de cultivo



Imagen No 3. Unidad rural tipo finca ecológica: Vivienda rural



Fotos tomadas por L, Hernández (2016)

## Anexo B: Matrices síntesis de la caracterización de la zona de estudio

Tabla B-1. Características biofísicas de la vereda La Requilina

Características Biofísicas		
Elementos	Descripción	Autor y Año
Geología	<p>Corresponde a la estratigrafía del bloque tectónico Sabana de Bogotá-Anticlinorio de los Farallones. Rocas del cretácico.</p> <p>Edad Geológica: Oligoceno-Mioceno o Mioceno</p> <p>Unidad Geológica: Formación Usme</p> <p>Descripción litológica: se distinguen dos partes: una inferior constituida esencialmente por lodolitas con intercalaciones de capas de arenitas finas y feldespatos y una superior compuesta por arenitas de cuarzo de grano grueso y conglomerado de cuarzo.</p>	<p>IGAC, 2000.</p> <p>Secretaria Distrital de Ambiente, 2011.</p>
Geomorfología	<p>El paisaje geomorfológico que corresponde a la zona de estudio es el de montaña, el relieve es abrupto y complejo, varía de moderadamente empinado a muy escarpado, con pendientes que difieren en grado de inclinación, longitud, forma y configuración, desde 7-12% hasta mayores de 75%; la altura relativa varía de 350 a 3900 metros; Esta constituido por rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas.</p>	<p>IGAC, 2000.</p>
Clima	<p>La distribución temporal de la precipitación es bimodal con dos periodos húmedos marzo a mayo y septiembre a noviembre y secos de diciembre a febrero y junio a agosto. Los valores de precipitación están entre los 1400 y 1700 mm, presenta temperaturas entre los 7 y 12 °C.</p> <p>La clasificación climática de Bogotá de acuerdo con Caldas modificado: Frio y seco</p> <p>Thornthwaite: Semifrío</p> <p>Holdrige: Bosque húmedo montano (bh-M).</p>	<p>IGAC, 2000.</p> <p>Secretaria Distrital de Ambiente, 2011.</p> <p>Sosa y Bonilla, 2017</p>
Suelos	<p>Se enmarca en la provincia fisiográfica de la cordillera oriental conformada por grandes paisajes de montaña estructural erosional y valle aluvial.</p> <p>Suelos profundos a superficiales, bien drenados, texturas moderadamente finas a moderadamente gruesas, fertilidad química media a alta.</p> <p>Clase agrologica que varía de la IV, VI, VII hasta la VIII (Ver mapa clases agrologicas figura No 8) estudio de la secretaria distrital de ambiente, 2011).</p>	<p>IGAC, 2000.</p> <p>Secretaria Distrital de Ambiente, 2011.</p>
Conflicto de uso	<p>Las coberturas vegetales presentan presión por la expansión de frontera agrícola, presentando pérdida de hábitat de fauna nativa, disminución del balance hídrico y aceleración de procesos erosivos.</p> <p>En la vereda La Requilina, los suelos presentan conflicto de uso por sobreutilización ligera (S1) en la vereda.</p>	<p>Secretaria Distrital de Ambiente, 2011.</p>
Recurso Hídrico	<p>Cuenca del río Magdalena, subcuenca del río Bogotá, meso cuenca quebraba Fucha, la cual presenta un patrón de drenaje subparalelo y subdentritico, con afluentes de recorrido corto y densidad media, tiene una longitud aproximada de 56.5 km; sus afluentes son Quebrada El Amoladero, La Quinta, (1.949,32m), El carraco/ 2.489,24m) y La Requilina (8571.92m). La mayoría de su cauce está prácticamente desprotegido de vegetación.</p>	<p>IGAC, 2000.</p> <p>Secretaria Distrital de Ambiente, 2011.</p>

Cobertura vegetal	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Vegetación herbácea o arbustiva: presente en relictos aislados por encima de los 3.200 m.s.n.m</li> <li>✓ Matorral Montano: presente en sectores medios de la vertiente del río Tunjuelo.</li> <li>✓ Bosque secundario mixto: vegetación con presencia de un componente arbóreo discontinuo y cobertura continua de tipos leñosos subarbóreos y arbustivo, sin una estratificación diferenciada, presentes entre 2.500 – 2.800 m.</li> <li>✓ Bosque Ripiaros: bosques y zonas boscosas ubicadas a lo largo de las corrientes hídricas, contribuyendo a la regulación de caudales, han sido bastante intervenidos por la actividad agropecuaria.</li> <li>✓ Plantaciones forestales: se encuentran en las zonas próximas a los embalses de Chisacá y La Regadera (áreas que ameritan conservación).</li> <li>✓ Cultivos anuales o transitorios: áreas ubicadas en las zonas de quebradas utilizadas principalmente para cultivos de tipo transitorio.</li> <li>✓ Patos: corresponden a zonas de quebradas que presentan cubiertas de pastizales manejados los cuales son destinados para la ganadería extensiva.</li> <li>✓ El área de estudio (vereda La Requilina), se encuentra cubierta al 82,66% por tierras cultivadas manejadas, con posterioridad se localiza la vegetación natural y seminatural que ocupa el 17,34% asociada a vegetación riparia y matorral denso.</li> </ul>	<p>Secretaría Distrital de Planeación y otros 2010. Diagnóstico de las áreas rurales de Bogotá, D.C., Tomo IV: Área Rural Localidad de Usme</p> <p>Secretaria Distrital de Ambiente, 2011.</p>
Fauna	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Anfibios: Un total de doce (12) individuos pertenecientes a 4 especies de anuros.</li> <li>✓ Aves: Un total de 10 especies pertenecientes a 6 familias.</li> <li>✓ Mamíferos: un total de siete (7) ejemplares de una sola familia.</li> <li>✓ Insectos: treinta y ocho (38) familias, cuatro órdenes.</li> </ul>	<p>Secretaría Distrital de Planeación y otros 2010. Diagnóstico de las áreas rurales de Bogotá, D.C., Tomo IV: Área Rural Localidad de Usme</p>
Recurso aire	<p>En la zona urbana la calidad del aire se ve afectada por la presencia de partículas en suspensión como polvo y hollín, originadas por las industrias que explotan material para la construcción, ladrilleras, plantas productoras de asfalto. Los suelos muy erosionados aportan también un porcentaje importante de partículas. Las calderas en los procesos de minería producen altas concentraciones de hollín</p>	<p>Secretaría Distrital de Planeación. (2009).</p>

Fuente: El estudio con base en los documentos

Tabla B-2. Caracterización socioeconómica de la vereda La Requilina

<b>Características Socioeconómicas</b>		
Elementos	Descripción	Autor y Año
Vivienda	<p>En la localidad de Usme para el 2011 existía un total de 99.215 viviendas, el 50,9% apartamentos y el 42% casas, el 6% restante se divide en inquilinatos.</p> <p>La vereda La Requilina es una de las que no ha recibido ningún tipo de subsidio para mejora de vivienda.</p>	<p>Secretaría Distrital de Planeación y otros 2010. Diagnóstico de las áreas rurales de Bogotá, D.C., Tomo IV: Área Rural</p>

		Localidad de Usme
Servicios públicos	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Empresa de acueducto y alcantarillado entregado en el año 2003, pertenece al acueducto ASOAGUAS DORADAS ESP.</li> <li>✓ Condición Sanitaria aproximadamente el 92.2% de la población rural carece de inodoro conectado al alcantarillado</li> <li>✓ Recolección de basuras: en la actualidad tiene una cobertura del 44.37% del total del total de los predios rurales. Solo 17 de los 68 predios que corresponde al 25% de la vereda La Requilina goza de este servicio.</li> <li>✓ Los servicios de energía y alumbrado público tienen un cubrimiento del 100% en el área rural por Codensa ESP.</li> <li>✓ Telefonía tiene un cubrimiento bajo, aunque se dispone de cabinas públicas veredales. Las empresas que ofrecen el servicio son: ETB, EPM Bogotá y Colombia Telecomunicaciones SA.</li> <li>✓ Gas natural Se logró establecer que en los sectores netamente rurales no existe redes construidas ni proyectadas.</li> </ul>	Secretaría Distrital de Planeación y otros 2010. Diagnóstico de las áreas rurales de Bogotá, D.C., Tomo IV: Área Rural Localidad de Usme
Servicio y equipamiento en salud	<p>El régimen de salud predominante es el subsidiado. Las veredas más cercanas a la zona urbana tienen una opinión más positiva de servicio de salud que reciben, en tanto que en las veredas más altas esta opinión difiere significativamente.</p> <p>Asimismo se localizan 18 equipamientos de salud que corresponden con dos Centros de Atención Médica Inmediata –CAMI-, una institución de nivel I, cinco Unidades Básicas de Atención –UBA- y ocho Unidades Primarias de Atención –UPA-.</p>	Secretaría Distrital de Planeación. (2009).
Educación	Usme posee 51 colegios oficiales, 58 colegios no oficiales y un centro de investigación.	Secretaría Distrital de Planeación. (2009).
Actividad económica	La localidad de Usme cuenta con seis sectores económicos, agricultura, ganadería, caza y actividades conexas, pesca, Industria manufacturera, Transporte, Comercio al por menor y al por mayor e Intermediación financiera.	Secretaría Distrital de Planeación y otros 2010. Diagnóstico de las áreas rurales de Bogotá, D.C., Tomo IV: Área Rural Localidad de Usme

Fuente: El estudio con base en los documentos

Tabla B-3. Caracterización sociocultural de la vereda La Requilina

Características Sociocultural		
Elementos	Descripción	Autor y Año
Demografía y distribución de la población	<p>La localidad de Usme es menos densa que el promedio de la ciudad. De acuerdo con las proyecciones, la población para Usme en el 2015 sería de 432.724 se estima que la distribución por género es de 214.039 hombres y 218.685 mujeres.</p> <p>La distribución de la población por grupos de edad, las</p>	Secretaría Distrital de Planeación. (2009).

	personas entre 0 y 15 años representan el 30,6%; entre 15 y 34 años, el 35%; entre 35 y 59, el 27,9% y mayores de 60 el 6,4%.	
Servicio y equipamiento sociales de cultura	En la localidad se preserva la memoria colectiva y las tradiciones y que propicia la creatividad y la expresión artística. Posee un total de 63 equipamientos culturales, dentro los cuales 57 pertenecen al grupo que corresponde encuentro y cohesión social, dos corresponden a espacios de expresión y cuatro son de la categoría de memoria y avance cultural.	Secretaría Distrital de Planeación. (2009).
Servicio y equipamiento de recreación y deporte	En la localidad de Usme se localizan tres equipamientos recreativos y deportivos que corresponde a dos coliseos y una piscina. Asimismo se localizan 309 parques que suman 1.697.551 m <sup>2</sup> , lo que equivale a 4,9 m <sup>2</sup> por habitante.	Secretaría Distrital de Planeación. (2009).

Fuente: El estudio con base en los documentos

## Anexo C: Formularios tipo encuesta

Formatos tipificación de fincas

### Formato C-1. Caracterización dimensión Familiar

COMPOSICION DEL HOGAR						
No	Aspectos	Si	No	N/A	Quienes	Observaciones
1	El hogar lo componen padres e hijos.					
2	Cuántas personas del hogar se dedican a la actividad de producción agrícola.					
3	Los menores de edad participan en las actividades agrícolas.					
FUERZAS DE TRABAJO						
4	Como se distribuye en términos de % la mano de obra en las actividades agrícolas.					
5	En el proceso productivo participan personas que no son parte del grupo familiar.					

### Formato C-2. Caracterización dimensión Económica

INSUMOS PARA LA PRODUCCIÓN						
No	Aspectos	Si	No	N/A	Por que?	Observaciones
1	Las fuentes económicas para adquirir el capital de inversión que requiere la producción provienen de: crédito, inversión propia, entidades gubernamentales y no gubernamentales, redes comunitarias.					
2	Conoce cuál es el monto aproximado de la inversión en insumos y mano de obra de la cosecha.					
3	Considera que en términos económicos la producción que desarrolla en su finca es rentable.					
PRODUCCION DE BIENES						
5	Se proyecta inicialmente abastecer el mercado local.					
6	La totalidad de la producción permite abastecer el mercado que se proyecta inicialmente.					
7	Cuál es el % aproximado de producto final comercializado.					
8	Pertenece a alguna red comunitaria que permita comercializar el producto de forma sencilla.					
Utiliza equipos y/o maquinaria para las actividades agrícolas.						
9	Cuenta usted con maquinaria propia destinada para las actividades agrícolas					
10	Existe transferencia de tecnología a través de instituciones locales.					

Formato C-3. Caracterización dimensión Ecológica-Normativa

ANTECEDENTES DE GESTION AMBIENTAL						
No	Aspectos	SI	NO	N/A	Cuales	Observaciones
1	Conoce los principales impactos que genera al ambiente, a la salud y a la calidad del producto final el proceso agrícola que usted desarrolla en su unidad productiva.					
2	Se utilizan agroquímicos para el control de plagas y/o malezas presentes en el área de cultivo.					
3	Considera que el uso de agroquímicos tiene algún impacto +/- sobre los recursos naturales.					
4	Se desarrollan actividades o proyectos encaminados a realizar una disposición final correcta de los residuos generados durante toda la cadena productiva.					
6	Hay presencia de algún gestor ambiental en el sector.					
<b>MANEJO DE RECURSOS NATURALES</b>						
<b>Recurso suelo</b>						
7	Conoce cuáles son las características que debe tener su finca para mantener la capacidad productiva de forma constante y óptima,					
8	Protege los suelos mediante técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos.					
9	Se utilizan insumos agrícolas de forma permanente que puedan generar algún tipo de impacto a los suelos.					
10	Considera que el suelo es receptor de los subproductos generados por el uso de agroquímicos utilizados durante la cadena productiva.					
11	Lleva algún control de registro de la aplicación de agroquímicos (pesticidas, fertilizantes) o biopesticidas.					
<b>Fauna y flora</b>						
13	Sabe si existen especies de flora y fauna protegidas dentro de su finca.					
<b>Recurso Hídrico: Disponibilidad, uso y calidad</b>						
23	Posee algún tipo de abastecimiento diferente al del acueducto. ¿Cual?					
27.	Tiene identificado la fuente de agua a utilizar para las diferentes actividades de la cadena productiva.					
28	Tienen algún método para el uso y ahorro de agua (recirculación, reutilización).					
32	Conoce cuál es la calidad y parámetros fisicoquímicos que debe cumplir el agua para uso agrícola.					
33	Realiza o ha realizado análisis fisicoquímicos para el agua que utiliza para riego.					
34	Realiza actividades relacionadas con la conservación, protección y aprovechamiento de agua.					



35	La finca cuenta con instalaciones y obras hidráulicas en condiciones adecuadas de mantenimiento.					
37	La finca cuenta con sistema de alcantarillado 7º vertimientos					
38	Controla los residuos de agroquímicos utilizados, para evitar que lleguen a Fuentes hídricas.					
39	Considera que el agua es receptor de los subproductos generados por el uso de agroquímicos utilizados en la cadena productiva					
<b>Recurs Aire:</b>						
42	Realiza quema abierta de algún tipo de vegetación natural					
43	Realiza algún tipo de incineración de residuos y/o desechos.					

Formatos Apropiación y uso del agua en la finca

Formato C-4. Identificación general de las fuentes de abastecimiento de agua en el sistema finca.

Fuentes de disponibilidad de agua	Uso doméstico	Uso agrícola	Fuente de abastecimiento en tiempo seco	Observaciones
Acueducto Veredal				
Nacedero				
Tanque				
Agua lluvia				
Otro Cual?				

Formato 2. Fuentes de abastecimiento y consumo de agua en el sistema finca para las actividades de los trabajadores durante la permanencia en la finca.

Vive usted en la finca: Si\_ No\_ Si no vive en la finca omita este apartado

Formato C-5. Identificación de fuentes de agua vs usos

<b>Agua utilizada en la manutención de los trabajadores</b>	Acueducto	Nacedero	Agua Lluvia	Observaciones
Agua para alimentación				
Agua para hidratación				
Agua para saneamiento (baños)				
Otra actividad				

**Anexo D:** Síntesis de datos requeridos por el software

Tabla D-1. Datos estación meteorológica Los Tanques - Temperatura, Humedad relativa y Brillo Solar

DATOS REQUERIDOS POR EL SOFTWARE CROPWAT 8.0							
Mes	t min oC	t max oC	Humedad %	Viento	Insolacion	Viento	Precipitación
Enero	3,8	14,1	93	1,3	5,7	17,0	16,0
Febrero	4,2	14,1	93	1,2	4,9	16,6	32,0
Marzo	5,0	13,5	94	1,1	3,6	15,0	44,2
Abril	5,7	13,0	95	1,1	2,7	13,5	68,7
Mayo	6,0	13,0	95	1,2	2,5	12,7	82,0
Junio	5,7	12,2	95	1,9	2,4	12,2	58,8
Julio	5,5	11,6	95	2,2	2,7	12,7	61,6
Agosto	5,2	11,9	95	2,1	3,0	13,7	50,7
Sep	5,0	12,6	94	1,5	3,5	14,7	40,6
Octubre	5,1	13,1	93	1,2	3,6	14,6	62,4
Noviembre	5,3	13,4	93	1,1	3,9	14,5	56,7
Diciembre	4,8	13,9	94	1,1	4,9	15,5	28,4

Tabla D-2. Datos estación meteorológica Aeropuerto el dorado – velocidad del viento

Mes	Promedio velocidad de viento
Enero	1,3
Febrero	1,2
Marzo	1,1
Abril	1,1
Mayo	1,2
Junio	1,9
Julio	2,2
Agosto	2,1
Sep	1,5
Octubre	1,2
Noviembre	1,1
Diciembre	1,1

ANEXO E. Matrices de descripción de las líneas de acción para evaluar indicadores

Tabla F-1. Indicador de fortalecimiento institucional y líneas de acción

Estrategia	Líneas de acción	Descriptor
Mejoramiento de la capacidad de gestión pública del recurso hídrico	Mejorar la capacidad de gestión integral del recurso hídrico en las autoridades ambientales y otros tomadores de decisiones.	Existe participación de todos los actores asociados a la cuenca en la toma de decisiones.
	Articular y coordinar entre el MAVDT y las autoridades ambientales, las acciones que tengan incidencia sobre el recurso hídrico, con otros Ministerios y con los entes territoriales.	Existen redes de información de los diferentes avances institucionales.
	Implementar programas de legalización de los usuarios de hecho del recurso hídrico.	Existen campañas de comunicación que promueva la legalización de los usuarios rurales del agua, a través de las autoridades ambientales.
	Orientar e incrementar las acciones de conservación y uso eficiente del recurso hídrico que desarrollen voluntariamente los usuarios del recurso (particulares, entidades públicas y privadas, y comunidad en general).	Existen actividades en las cuales hay participación voluntaria de los usuarios.
	Reglamentar los cuerpos de agua priorizados en el Plan Hídrico Nacional.	Existe regulación de los cuerpos de agua de la zona.
	Implementar el registro de usuarios del recurso hídrico (RURH) (Decreto 1324 de 2007).	Existe una línea base de legalización de usuarios en el Sistema de Información del Recurso Hídrico, a través del diligenciamiento del Registro de Usuarios del Recurso Hídrico – RURH.
Formación, investigación y gestión de la información:	Formular e implementar el plan nacional de investigación y formación en la gestión integral del recurso hídrico.	Existen programas del plan nacional de investigación y formación en la gestión integral del recurso hídrico.
	Implementar el sistema de información del recurso hídrico (Decreto 1323 de 2007).	Se ha Implementado el sistema de información del recurso hídrico.
Revisión normativa y articulación con otras políticas:	Integrar, armonizar y optimizar la normativa relativa a la gestión integral del recurso hídrico, y diseñar e implementar protocolos, guías y cajas de herramientas para su correcta aplicación.	Existe optimización normativa relacionada con el GIRH.
	Incidir en las políticas públicas o privadas que afectan de manera importante el recurso hídrico, articulando las acciones de la Política para la GIRH con las de otras políticas ambientales, sectoriales y multisectoriales como la Política Nacional del Océano y los Espacios Costeros.	Existe articulación entre las diferentes acciones políticas en relación al recurso hídrico.
	Establecer y aplicar criterios y estándares de calidad del recurso hídrico para usos con necesidad de reglamentación, tales como las aguas marino costeras, recarga de acuíferos y re-uso de aguas residuales tratadas.	Existen estudios recientes en la vereda que describan los estándares de calidad del recurso hídrico de la zona y que permitan reglamentar sus posibles usos.
	Establecer las reglas y criterios de ordenamiento ambiental de uso del territorio en el marco de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas.	Existe claridad en el Plan de Ordenamiento y Manejo Cuencas Hidrográficas- POMCA
	Reglamentar el ordenamiento ambiental de los	<i>No aplica para la zona de estudio</i>

	mares adyacentes.	
Sostenibilidad financiera	Cuantificar y priorizar las inversiones, así como apropiar los recursos necesarios para el financiamiento del Plan Hídrico Nacional.	Existen los recursos necesarios para financiar el Plan Hídrico Nacional.
	Realizar el seguimiento y hacer evaluación periódica y pública de los resultados de las inversiones realizadas en el marco del Plan Hídrico Nacional.	Existencia de mecanismos para evaluar el desempeño de las inversiones económicas necesarias para financiar el Plan Hídrico Nacional.
	Articular y optimizar las fuentes existentes de financiamiento para la gestión integral del recurso hídrico y gestionar las nuevas fuentes que sean necesarias para el cierre financiero de los programas y proyectos prioritarios del Plan Hídrico Nacional.	Existen fuentes de financiamiento alternos para ejecutar el Plan Hídrico Nacional.

Fuente: elaboración propia con base en PNGIRH

Tabla E-2. Indicador de Gobernanza y líneas de acción

<b>Estrategia</b>	<b>Líneas de Acción</b>	<b>Descriptor</b>
Participación	Incrementar la capacidad de participación de todos los actores involucrados en la gestión integral del recurso hídrico.	Existe participación igualitaria de todos los actores asociados a la cuenca.
	Implementar programas para promover el control social y la veeduría ciudadana hacia la gestión sostenible del recurso hídrico.	Existen programas sociales que favorecen gestión sostenible del recurso hídrico.
	Implementar programas para asegurar la participación en la gestión integral del recurso hídrico de los grupos sociales más vulnerables.	Existe participación de los actores rurales en programas relacionados con GIRH
	Implementar programas masivos de comunicación e información a nivel nacional, regional y local, acerca de las acciones desarrolladas y proyectadas para implementar el Plan Hídrico Nacional.	Existen redes de información de los diferentes avances institucionales.
	Desarrollar e implementar esquemas de gestión comunitaria local hacia el uso y manejo responsable del agua.	Existe claridad sobre las responsabilidades de la comunidad frente al uso y manejo responsable del agua.
Cultura del agua:	Implementar campañas de sensibilización y campañas educativas acerca de la gestión integral del recurso hídrico, que incluyan a todos los sectores usuarios del agua.	Existen campañas sobre el GIRH que incluyan todos los usuarios del agua.
	Desarrollar e implementar contenidos curriculares en el tema de la gestión integral del recurso hídrico adaptados a los contextos locales.	Existen planes curriculares que incluye la temática ambiental relacionada con los conflictos de agua en el sector.
Manejo de conflictos	Identificar, caracterizar y clasificar los conflictos relacionados con el recurso hídrico.	Existe una línea base sobre los conflictos relacionados con el recurso hídrico en la zona.
	Desarrollar e implementar escenarios y espacios para el manejo y transformación de conflictos y asegurar el uso compartido y equitativo del agua.	Existen espacios para el manejo de conflictos incluyendo el uso equitativo del agua.

	Proveer los recursos, herramientas y capacitaciones necesarias para el manejo y transformación de conflictos en la gestión integral del recurso hídrico.	Existen recursos, herramientas y capacitación permanente sobre los conflictos en la GIRH.
--	--	---

Fuente: elaboración propia con base en PNGIRH

## Anexo F: Tipificación del sistema finca ecológico

Tabla F-1. Matriz síntesis del sistema finca de producción ecológica: Unidad agrícola bajo invernadero

<b>Generalidades de la finca</b>	
Localización	Usme – vereda La Requilina
Área total de la finca	11.000 m <sup>2</sup> de los cuales aproximadamente 100 m <sup>2</sup> se destinan para el sistema agrícola bajo invernadero
Condición de la finca	Propietario de tipo familiar
<b>Componentes y arreglos</b>	
Componente productivo	
Agrícola	Hierbas aromáticas: caléndula, tomillo, toronjil, yerbabuena y romero
Pecuario	No se presenta
Forestal	No se presenta
Minero	No se presenta
Otro	La finca pertenece a la ruta agroturística de la vereda la Requilina, cuyo potencial es el de hierbas aromáticas
<b>Componente económico</b>	
<b>Insumos y abastecimiento para la producción</b>	
Fuentes económicas de inversión que requiere la actividad agrícola.	En la actualidad este proyecto es patrocinado por la empresa de acueducto de Bogotá es decir entregaron los materiales necesarios para la transformación del invernadero, en años anteriores la era inversión familiar.
Infraestructura de producción y nivel tecnológico	Invernadero elaborado con madera y plástico
Maquinarias y equipos	N.A.
Fuentes de energía	N.A.
Adecuación hidráulica	La fuente de abastecimiento de agua para riego es agua del nacedero de la finca, se realiza de forma manual a través de una manguera de 1 pulgada.
Cuál es el monto aproximado de la inversión de insumos y mano de obra	Aún no se ha establecido, actividad retomada desde el mes de marzo.
La actividad productiva que desarrolla en la finca es rentable	N.A.
Esta actividad es la fuente económica principal	N.A.
<b>Comercialización del producto final</b>	
Se proyecta abastecer el mercado local.	N.A.
% del producto final comercializado	N.A.
% de autoconsumo	100%. Se comparte con las fincas vecinas
Canal de distribución	N.A.
<b>Componente socio cultural</b>	
<b>Composición del Hogar</b>	
El hogar está conformado	Padres e hijos
Cuántas personas se dedican a la actividad agropecuaria	50%
Los menores de edad participan en la actividad agropecuaria	Sí, pero solo en la época de vacaciones en actividades que no exigen un esfuerzo físico alto.
Número de trabajadores	2

Tipo de mano de obra	Mano de obre familiar
<b>Fuerzas de trabajo</b>	
Número de trabajadores Cabeza de hogar	
Tipo de mano de obra Familiar	
Pertenece a alguna red comunitaria que permita comercializar el producto de forma sencilla.	N.A.
<b>Arreglos</b>	
Agrícola bajo invernadero	
<b>Tipo de interacciones entre los componentes</b>	
Mutualismo: las heces fecales de las gallinas, vacas y cabras se utilizan como compost en el área de cultivo para fertilizar	
<b>Componente ecológico</b>	
<b>Antecedentes de gestion ambiental</b>	
Conoce los principales impactos que genera al ambiente y recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna), a la salud y a la calidad del producto final el proceso agrícola que usted desarrolla en la finca	El agricultor considera que la actividad no genera un impacto negativo, ya que se cultiva de forma ecológica empleando bioinsumos, realizando rotación de cultivos y la unidad productiva presenta diferentes agroecosistemas.
Disposición final de residuos	No hay residuos, debido a que los insumos son preparados y se reutilizan dentro de otros agroecosistemas que componen la unidad productiva, como se reestableció el invernadero actualmente no se presentan residuos de plásticos
Presencia de algún gestor ambiental en el sector.	La ULATA, pero la atención es insuficiente ya que debe ofrecer apoyo a las 14 veredas de Usme; adicionalmente hay que tener en cuenta que se emplean conocimientos tradicionales.
<b>Manejo de recursos naturales</b>	
<b>Recurso suelo</b>	
Conoce cuáles son las características que debe tener la finca para mantener la capacidad productiva de forma constante y óptima	No
Protege los suelos mediante técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos	Realiza rotación de los cultivos entre diferentes tipos de hierbas aromáticas
Uso de insumos agrícolas de forma permanente que puedan generar algún tipo de impacto a los suelos.	No porque se aplican insumos preparados como humus, compost y gallinaza
Considera que el suelo es receptor de los subproductos generados por el uso insumos agrícolas.	Sí, pero debido a el tipo de sistema de producción agrícola que se desarrollada los insumos no generan un impacto negativo
Lleva algún control de registro de la aplicación de insumos agrícolas (agroquímicos o biopesticidas)	No
<b>Recurso hídrico</b>	
Cuáles son las fuentes de abastecimiento agua para las actividades agrícolas.	Nacedero de la finca que proviene de la quebrada La Requilina canalizada a través de una manguera.
Realiza actividades para proteger las fuentes de agua	N.A
Conoce cuál es la calidad o parámetros que debe cumplir el agua para ser utilizada para riego.	No
Controla de alguna forma que los residuos de insumos agrícolas que usa lleguen a las fuentes hídricas	No

Considera que el suelo es receptor de los subproductos generados por el uso insumos agrícolas	Si
<b>Recurso Aire</b>	
Realiza quema abierta de algún tipo de vegetación natural, residuos o desechos	No
<b>Recurso Flora y Fauna</b>	
Existen especies protegidas dentro de la finca	No sabe

Fuente: El estudio basado en el trabajo de campo

Para la caracterización de la unidad de vivienda rural vale la pena mencionar que los ítems relacionados con manejo de recursos naturales no aplican, ya que las interacciones que se dan ocurren dentro de un recinto cerrado el cual cuenta con luz y sistema de acueducto Veredal.

Tabla F-2. Matriz síntesis sistema finca de producción ecológica: Unidad vivienda rural

<b>Identificación de la finca</b>	
Localización	Usme – vereda La Requilina
Área total de la finca	11.000 m <sup>2</sup> de los cuales 70 m <sup>2</sup> conforman la vivienda rural
Sistema productivo que predomina	N.A.
Condición de la finca	Familiar
<b>Componentes y arreglos</b>	
<b>Componente productivo</b>	
Agrícola	N.A.
Pecuario	Especies menores: 20 gallinas, para autoconsumo de huevos y eventualmente comercialización.
Forestal	Árboles frutales o maderables aislados
Minero	N.A.
Otro	Ama de casa y fontanero
<b>Componente económico</b>	
<b>Insumos y abastecimiento para la producción</b>	
Fuentes económicas para realizar la inversión que requiere la actividad agrícola que desarrolla	N.A.
Agroquímicos: (funguicidad, pesticidas, fertilizantes, abonos)	N.A.
Infraestructura de producción y nivel tecnológico	N.A.
Maquinaria y/o equipos	N.A.
Fuentes de energía	Empresa de energía eléctrica Codensa, estrato 1
Adecuación hidráulica	Acueducto Veredal Aguas doradas empleada para actividades domésticas.
Cuál es el monto aproximado de la inversión de insumos y mano de obra	N.A.
La actividad productiva que desarrolla en la finca es rentable	N.A.
La actividad agropecuaria es la fuente económica principal	N.A.
<b>Comercialización del producto final</b>	
Se proyecta inicialmente abastecer el mercado local.	N.A.



% del producto final comercializado	N.A.
% de autoconsumo	N.A.
Canal de distribución	N.A.
<b>Componente socio cultural</b>	
<b>Composición del Hogar</b>	
El hogar está conformado	Padres e hijos
Cuántas personas se dedican a la actividad agropecuaria	50%
Los menores de edad participan en la actividad agropecuaria	Sí, pero solo en la época de vacaciones en actividades que no exigen un esfuerzo físico alto.
<b>Fuerzas de trabajo</b>	
Número de trabajadores	N.A.
Tipo de mano de obra	N.A.
Pertenece a alguna red comunitaria que permita comercializar el producto de forma sencilla.	N.A.
<b>Arreglos</b>	
Habitacional Mantenimiento de aves menores	
<b>Tipo de interacciones entre los componentes</b>	
De subsistencia	
<b>Componente ecológico</b>	
<b>Antecedentes de gestión ambiental</b>	
Conoce los principales impactos que genera al ambiente, a los recursos naturales (suelo, agua, flora y fauna), a la salud y a la calidad del producto final el proceso agrícola que usted desarrolla en la finca	N.A.
Disposición final de residuos	Se acumulan los desperdicios orgánicos para preparación de compost.
Presencia de representantes ambientales en el sector	N.A.
<b>Manejo de recursos naturales</b>	
<b>Recurso Suelo</b>	
Conoce cuáles son las características que debe tener la finca para mantener la capacidad productiva de forma constante y óptima	N.A.
Protege los suelos mediante técnicas adecuadas de cultivos y manejo de suelos	N.A.
Uso de insumos agrícolas de forma permanente que puedan generar algún tipo de impacto a los suelos.	N.A.
Considera que el suelo es receptor de los subproductos generados por el uso de agroquímicos	N.A.
Lleva algún control de registro de la aplicación de agroquímicos (pesticidas, fertilizantes) o biopesticidas.	N.A.
<b>Recurso Hídrico</b>	
Cuáles son las fuentes de abastecimiento para las actividades agrícolas que desarrolla en la finca	
Realiza actividades para proteger las fuentes de agua	N.A.
Conoce cuál es la calidad o parámetros que debe cumplir el agua para ser utilizada para riego.	N.A.
Controla de alguna forma que los residuos de agroquímicos que usa lleguen a las fuentes hídricas	N.A.

Considera que el suelo es receptor de los subproductos generados por el uso de agroquímicos	N.A.
<b>Recurso Aire</b>	
Realiza quema abierta de algún tipo de vegetación natural, residuos o desechos	N.A.
<b>Recurso Flora y Fauna</b>	
Existen especies protegidas dentro de la finca	N.A.

Fuente: El estudio basado en el trabajo de campo

Para la caracterización de las fuentes de abastecimiento de agua para las actividades domésticas y el mantenimiento de la vivienda rural, las interacciones que se dan ocurren dentro de un recinto cerrado el cual cuenta con acueducto Veredal.

Tabla F-3. Matriz síntesis de las fuentes de abastecimiento de agua para actividades domésticas y manutención dentro del sistema finca ecológico

Agua captada y utilizada en las actividades domesticas	Acueducto	Nacedero	Observaciones
Agua para alimentación	X		
Agua para la hidratación	X		
Agua para higiene personal	X	X	
Agua para actividades domésticas (limpieza de la casa y lavado de ropa)		X	El agua del nacedero esta canalizada a través de una manguera o se toma directamente en un balde

Fuente: El estudio basado en el trabajo de campo

**Anexo G:** Datos que genera el software a partir del ingreso de los valores climatológicos de las estaciones. La fuente de todos los datos presentados a continuación son generados por del software cropwat 8.0.

Tabla G-1. Datos estación Santa María de Usme

Estación		Método Prec. Ef	
Santa María de Usme		Método USDA S.C.	
	Precipit.	Prec. efec	
	mm	mm	
Enero	16.4	16.0	
Febrero	33.8	32.0	
Marzo	47.9	44.2	
Abril	78.6	68.7	
Mayo	97.1	82.0	
Junio	65.7	58.8	
Julio	69.3	61.6	
Agosto	55.6	50.7	
Septiembre	43.7	40.6	
Octubre	70.3	62.4	
Noviembre	63.1	56.7	
Diciembre	29.8	28.4	
<b>Total</b>	<b>671.3</b>	<b>602.1</b>	

Tabla G-2. Calculo ETo (mm/día) a través del software

ETo Penman-Monteith Mensual - untitled							
País		Estación					
Colombia		Los Tanques					
Altitud	3 m.	Latitud	4.11 'N	Longitud	74.11 'W		
Mes	Temp Min	Temp Max	Humedad	Viento	Insolación	Rad	ETo
	°C	°C	%	m/s	horas	MJ/m²/día	mm/día
Enero	3.8	14.1	93	1.3	5.7	17.0	2.04
Febrero	4.2	14.1	93	1.2	4.9	16.6	2.06
Marzo	5.0	13.5	94	1.1	3.6	15.0	1.93
Abril	5.7	13.0	95	1.1	2.7	13.5	1.75
Mayo	6.0	13.0	95	1.2	2.5	12.7	1.65
Junio	5.7	12.2	95	1.9	2.4	12.2	1.49
Julio	5.5	11.6	95	2.2	2.7	12.7	1.48
Agosto	5.2	11.9	95	2.1	3.0	13.7	1.58
Septiembre	5.0	12.6	94	1.5	3.5	14.7	1.80
Octubre	5.1	13.1	93	1.2	3.6	14.6	1.85
Noviembre	5.3	13.4	93	1.1	3.9	14.5	1.82
Diciembre	4.8	13.9	94	1.1	4.9	15.5	1.91
<b>Promedio</b>	<b>5.1</b>	<b>13.0</b>	<b>94</b>	<b>1.4</b>	<b>3.6</b>	<b>14.4</b>	<b>1.78</b>

Tabla G-3. Calculo de la precipitación efectiva (mm) a través del software

Estación		Método Prec. Ef	
Santa María de Usme		Método USDA S.C.	
	Precipit.	Prec. efec	
	mm	mm	
Enero	16.4	16.0	
Febrero	33.8	32.0	
Marzo	47.9	44.2	
Abril	78.6	68.7	
Mayo	97.1	82.0	
Junio	65.7	58.8	
Julio	69.3	61.6	
Agosto	55.6	50.7	
Septiembre	43.7	40.6	
Octubre	70.3	62.4	
Noviembre	63.1	56.7	
Diciembre	29.8	28.4	
<b>Total</b>	<b>671.3</b>	<b>602.1</b>	

Tabla G-4. Datos del cultivo de arveja producción convencional

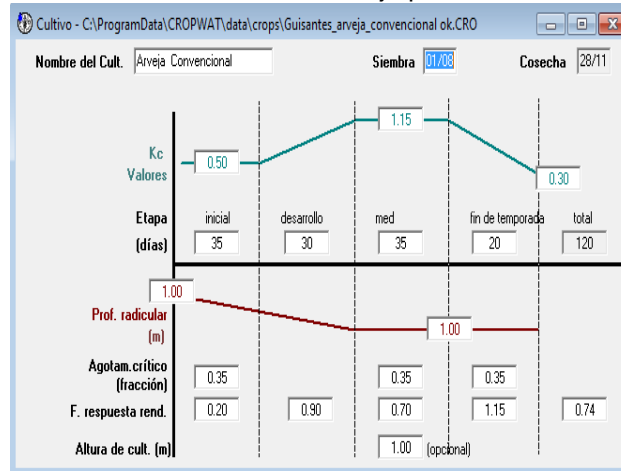
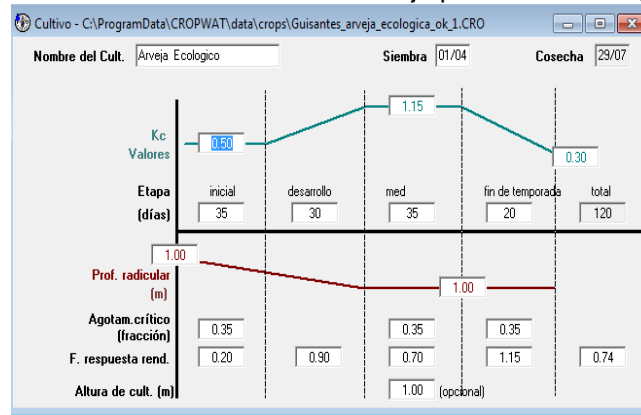


Tabla G-5. Datos del cultivo de arveja producción ecológica



De acuerdo con Sánchez (2016) dada la dificultad que tienen los suelos de páramo para ser dispersados eficientemente en el laboratorio haciendo que el análisis granulométrico no sea fácil de realizar; por lo que la prueba a tacto o método organoléptico de campo es fundamental para determinar con mejor certeza su clase textural. La clase textural de las áreas de cultivo se determinaron, a través, del método organoléptico obteniendo una textura franco arcilloso; cuyo equivalente en el software es black clay soil (suelo arcilloso negro).

Tabla G-6. Clase textural

Nombre del suelo: **BLACK CLAY SOIL**

Datos generales de suelo:

- Humedad de suelo disponible total (CC-PMP): 200.0 mm/metro
- Tasa máxima de infiltración de la precipitación: 30 mm/día
- Profundidad radicular máxima: 900 centímetros
- Agotamiento inicial de hum. de suelo (como % de ADT): 50 %
- Humedad de suelo inicialmente disponible: 100.0 mm/metro

Tabla G-7. Datos requerimiento de agua del cultivo producción convencional

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETo Los Tanques				Cultivo Arveja Convencional			
Est. de lluvia Santa María de Usme				Fecha de siembra 01/08			
Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Ago	1	Inic	0.50	0.77	7.7	18.1	0.0
Ago	2	Inic	0.50	0.79	7.9	16.9	0.0
Ago	3	Inic	0.50	0.83	9.1	15.8	0.0
Sep	1	Des	0.54	0.93	9.3	13.7	0.0
Sep	2	Des	0.73	1.30	13.0	12.1	0.9
Sep	3	Des	0.92	1.67	16.7	15.0	1.7
Oct	1	Med	1.08	1.97	19.7	19.2	0.5
Oct	2	Med	1.09	2.01	20.1	22.0	0.0
Oct	3	Med	1.09	2.00	22.0	21.0	1.0
Nov	1	Fin	1.08	1.97	19.7	20.2	0.0
Nov	2	Fin	0.79	1.45	14.5	20.0	0.0
Nov	3	Fin	0.44	0.81	6.5	13.2	0.0
					<b>166.3</b>	<b>207.2</b>	<b>4.2</b>

Tabla G-8. Datos requerimiento de agua del cultivo producción ecológica

Requerimiento de Agua del Cultivo							
Estación ETo Los Tanques				Cultivo Arveja Ecológica			
Est. de lluvia Santa María de Usme				Fecha de siembra 01/04			
Mes	Decada	Etapas	Kc	ETc	ETc	Prec. efec	Req. Riego
			coef	mm/día	mm/dec	mm/dec	mm/dec
Abr	1	Inic	0.50	0.91	9.1	20.5	0.0
Abr	2	Inic	0.50	0.88	8.8	23.4	0.0
Abr	3	Inic	0.50	0.86	8.6	24.7	0.0
May	1	Des	0.53	0.89	8.9	27.0	0.0
May	2	Des	0.71	1.17	11.7	29.0	0.0
May	3	Des	0.91	1.46	16.1	25.9	0.0
Jun	1	Med	1.08	1.67	16.7	21.4	0.0
Jun	2	Med	1.09	1.63	16.3	18.4	0.0
Jun	3	Med	1.09	1.63	16.3	19.1	0.0
Jul	1	Fin	1.09	1.61	16.1	20.6	0.0
Jul	2	Fin	0.83	1.23	12.3	21.1	0.0
Jul	3	Fin	0.46	0.69	6.2	16.1	0.0
					<b>147.2</b>	<b>267.3</b>	<b>0.0</b>

## Anexo H: Cálculos para la determinación de la huella hídrica total

### 1.1. Cálculos Huella Hídrica Verde

- ✓ Transformación de unidades de mm a m de la precipitación efectiva (Pef)

$$P_{ef} = 602.1 \text{ mm} \times \frac{0.001 \text{ m}}{\text{mm}} = 0.6021 \text{ m}$$

- ✓ Cálculo del equivalente de arobas a toneladas

$$4000 \text{ kg} \times \frac{1 \text{ tonelada}}{1000 \text{ kg}} = 4 \text{ Toneladas año}$$

- ✓ Cálculo del rendimiento

$$Y = \frac{4 \text{ ton}}{10000 \text{ m}^2} = 0.0004 \text{ ton/m}^2$$

$$HHV_{\text{producción convencional}} = \frac{0.602 \text{ m}}{0,0004 \text{ ton/m}^2} = \mathbf{1.505,3 \text{ m}^3 / \text{ton}}$$

$$HHV_{\text{producción ecológica}} = \frac{0.602 \text{ m}}{0,0004 \text{ ton/m}^2} = \mathbf{1.505,3 \text{ m}^3 / \text{ton}}$$

### 1.2. Cálculos Huella Hídrica Azul

#### Huella Hídrica Azul Producción Convencional

Cwu riego producción convencional: A continuación se realiza la transformación de unidades de mm a m.

$$Cw_{u \text{ riego producción convencional}} = 4,2 \text{ mm} \times \frac{0.001 \text{ m}}{\text{dec mm}} = 0.0042 \text{ m}$$

$$Cw_{u \text{ riego producción convencional}} = 1,000 \text{ l} \times \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ l}} = 1 \text{ m}$$

- ✓ Y rendimiento del cultivo = ya calculado

$$\text{HHA}_{\text{modelación con cropwat 8.0. Producción convencional}} = \frac{0,042 \text{ m}}{0,0004 \text{ Ton/m}^2} = \underline{\underline{10,5 \text{ m}^3/\text{Ton}}}$$

El agricultor realiza control de plagas con agroquímicos, prepara 200 litros de una mezcla de curacrom al 1%; adicionando en total 1000 litros de la mezcla al cultivo.

$$\text{HHA}_{\text{Adición de agua durante el control de plagas producción convencional}} = \frac{1,0 \text{ m}}{0,0004 \text{ Ton/m}^2} = \underline{\underline{2.500 \text{ m}^3/\text{Ton}}}$$

### Huella Hídrica Azul Producción Ecológica

$$\text{HHA}_{\text{producción ecológica}} = 0 \text{ m} = \frac{0 \text{ m}^3/\text{Ton}}{0.0000091 \text{ Ton/m}^2}$$

### 1.3. Huella Hídrica Gris Producción Convencional

#### Huella Hídrica Nitritos

$$\frac{(0.1 \times 23.0 \text{ kg/ha}) / (0.01 \text{ kg/m}^3 - 0)}{0.0004 \text{ Ton/ha}} = 575.000 \text{ m}^3/\text{Ton}$$

#### Huella Hídrica Potasio

$$\frac{(0.1 \times 20 \text{ kg/ha}) / (0.1 \text{ kg/m}^3 - 0)}{0.0000091 \text{ Ton/ha}} = 50.000 \text{ m}^3/\text{Ton}$$

#### Huella Hídrica fosforo total

$$\frac{(0.1 \times 15.05 \text{ kg/ha}) / (0.002 \text{ kg/m}^3 - 0)}{0.0000091 \text{ Ton/ha}} = 1'881.250 \text{ m}^3/\text{Ton}$$

$$\text{HHG}_{\text{producción convencional}} = 575.000 + 50.000 + 1'881.250 = \underline{\underline{2'506.250 \text{ m}^3/\text{Ton}}}$$

### Huella Hídrica Gris Producción Ecológica

#### Huella Hídrica Nitritos

$$\frac{(0.1 \times 6,2 \text{ kg/ha}) / (0.01 \text{ kg/m}^3 - 0)}{0.0004 \text{ Ton/ha}} = 115.000 \text{ m}^3/\text{Ton}$$

$$\text{HHG}_{\text{producción ecológica}} = \underline{\underline{115.000 \text{ m}^3/\text{Ton}}}$$

### 6.7.6.1. Huella Hídrica Total Producción Convencional

$$\text{HHT}_{\text{Producción Convencional}} = 1505,3 + 2.500 + 2'506.250 = \underline{\underline{2'510.255,3 \text{ m}^3/\text{ton}}}$$

### 6.7.6.2. Huella Hídrica Total Producción Ecológica

$$\text{HHT}_{\text{producción ecológica}} = 1505,3 + 0 + 115.000 = \mathbf{116.505,3 \text{ m}^3/\text{ton}}$$

## **Anexo I: Calculo del sistema de indicadores**

### 1.1. Índice de Oferta

$$\text{Esc} = 408,04 \text{ mm}$$

$$\text{IO}\% = \frac{0,40804 \text{ m} * 100}{10797,92 \text{ ha}} = 0,0038$$

### 1.2. Índice de Demanda

$$\text{ID}\%_{\text{producción convencional}} = \frac{50,0 + 100,0 * 100}{10797,92}$$

$$\text{ID}\%_{\text{producción convencional}} = \mathbf{1,3892}$$

$$\text{ID}\%_{\text{producción ecológica}} = \frac{50,0 * 100}{10797,92}$$

$$\text{ID}\%_{\text{producción ecológica}} = \mathbf{0,4631}$$

### 1.3. Índice de Calidad

$$\text{ICA}\%_{\text{producción convencional}} = \frac{95,56 * 100}{10797,92}$$

$$\text{ICA}\%_{\text{producción convencional}} = \mathbf{0,8836}$$

$$\text{ICA}\%_{\text{producción ecológica}} = \frac{4,3872 * 100}{10797,92}$$

$$\text{ICA}\%_{\text{producción ecológica}} = \mathbf{0,0406}$$

### 1.4 Índice de Riesgo

$$\text{IR}\%_{\text{producción convencional}} = \frac{0,9561 * 100}{10797,92}$$

$$\text{IR}\%_{\text{producción convencional}} = \mathbf{0,8850}$$

$$\text{IR}\%_{\text{producción ecológica}} = \frac{4,4353 * 100}{10797,92}$$



IR% producción ecológica = **0,0411**

### 1.5. Índice de fortalecimiento institucional

La valoración asigna a cada uno de los 15 descriptores de las líneas de acción se presenta a continuación:

IFI: 5/15= 0,33

<b>Descriptor</b>	<b>Fuente</b>	<b>Valoración</b>
Existe participación de todos los actores asociados a la cuenca en la toma de decisiones.	Información de campo	0
Existen redes de información de los diferentes avances institucionales disponible para todos los actores.	Información de campo	0
Existen campañas de comunicación que promueva la legalización de los usuarios rurales del agua, a través de las autoridades ambientales.	Información de campo	0
Existen actividades en las cuales hay participación voluntaria de usuarios.	POMCA y Información de campo.	1
Existe regulación de los cuerpos de agua de la zona.	POMCA	1
Existe una línea base de legalización de usuarios en el Sistema de Información del Recurso Hídrico, a través del diligenciamiento del Registro de Usuarios del Recurso Hídrico – RURH.	Información de campo	0
Existen programas del plan nacional de investigación y formación en la gestión integral del recurso hídrico.	Información de campo	0
Existe un sistema de información del recurso hídrico.*	<a href="http://www.minambiente.gov.co">http://www.minambiente.gov.co</a>	1
Existe optimización normativa relacionada con el GIRH.	Política Nacional para la Gestión Integral del Recurso Hídrico	1
Existe articulación entre las diferentes acciones políticas en relación al recurso hídrico.	Información de campo	0
Existen estudios recientes en la vereda que describan los estándares de calidad del recurso hídrico de la zona y que permitan reglamentar sus posibles usos.	Red de monitoreo de calidad del agua.	1
Existe claridad en el Plan de Ordenamiento y Manejo Cuencas Hidrográficas- POMCA	Información de campo	0
Existen los recursos necesarios para financiar el Plan Hídrico Nacional.	Información de campo	0
Existencia de mecanismos para evaluar el desempeño de las inversiones económicas necesarias para financiar el Plan Hídrico Nacional.	Información de campo	0

Existen fuentes de financiamiento alternos para ejecutar el Plan Hídrico Nacional.	Información de campo	0
--	----------------------	---

\* De acuerdo con lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, Capítulo 5 sección 1, artículo 2.2.3.5.1.2, el Sistema de Información del Recurso Hídrico -SIRH- es el conjunto de elementos que integra y estandariza el acopio, registro, manejo y consulta de datos, bases de datos, estadísticas, sistemas, modelos, información documental y bibliográfica, reglamentos y protocolos que facilita la gestión integral del recurso hídrico.

## 1.6. Índice de Gobernanza

La valoración que asigna a los 10 descriptores los de las líneas de acción se presentan a continuación:

IG:  $3/10 = 0,30$

<i>Descriptor</i>	<i>Fuente</i>	<i>Valoración</i>
Existe participación igualitaria de todos los actores asociados a la cuenca.	Información de campo	0
Existen programas sociales que favorecen gestión sostenible del recurso hídrico*.	Motta, R y otros. La gobernanza del agua y la participación ciudadana en Bogotá (2016).	1
Existe participación de los actores rurales en programas relacionados con GIRH.	Motta, R y otros. La gobernanza del agua y la participación ciudadana en Bogotá (2016).	1
Existen redes de información de los diferentes avances institucionales.	Información de campo	0
Existe claridad sobre las responsabilidades de la comunidad frente al uso y manejo responsable del agua.	Información de campo	0
Existen campañas sobre el GIRH que incluyan todos los usuarios del agua.	Información de campo	0
Existen planes curriculares que incluye la temática ambiental relacionada con los conflictos de agua en el sector.	Información de campo	0
Existe una línea base sobre los conflictos relacionados con el recurso hídrico en la zona.	Estudios sectoriales como POMCA, Plan Ambiental Local - PAL	1
Existen espacios para el manejo de conflictos incluyendo el uso equitativo del agua.	Información de campo	0
Existen recursos, herramientas y capacitación permanente sobre los conflictos en la GIRH.	Información de campo	0

\* En el año 2012 marca el inicio de los procesos de participación de las comunidades en la gobernanza del agua, con la conformación de los 43 Cabildos en todas las localidades de Bogotá, denominados Cabildos Gobernanza del Agua (CGA). La implementación de estos Cabildos integró las cuencas y las microcuencas del Distrito a fin de incorporar a la comunidad y el tejido social en la recuperación de los espacios de agua. Motta (2016).

## Anexo J: Prueba estadística no paramétrica de Wilcoxon

La prueba estadística considerada es la T de Wilcoxon, que de acuerdo con Hurtado (2002) corresponde a una prueba no paramétrica, que permite comparar los datos de dos grupos relacionados, cuando la escala de medida se presenta de forma ordenada, en otras palabras corresponde a una escala ordinal. Por lo tanto finalmente tenemos que con la valoración de los indicadores, se realiza la prueba para dos grupos (dos fincas de diferente modelo de producción), y un solo evento (sistema de indicadores hídricos que representa el uso sustentable del agua).

La prueba de Wilcoxon incluye seis pasos (Hurtado, 2002), los cuales se adaptan y se aplican a los datos obtenidos, en la tabla se resumen los pasos de la prueba.

Tabla J-1. Prueba no paramétrica de Wilcoxon

Pasos	Descripción
1	Ordenar los puntajes en una tabla, las columnas corresponden a los valores de cada unidad de análisis.
2	Calcular las diferencias entre los valores de cada columna y los cuadrados de estas diferencias.
3	Ordenar las diferencias por rangos de menor a mayor, como valor absoluto. Esta fila se denomina como (D)
4	Sumar los rangos con el signo menos frecuente. Esta fila se denomina como (Rango D)
5	Se busca el valor crítico de T, en la tabla, utilizando el número de parejas como N, así mismo, previamente se escoge el nivel de significancia y si la prueba de colas.
6	Comparar el valor empírico de T vs al valor de T obtenido.

Fuente. Elaboración propia con base en Hurtado (2002)

### Resultados

Solo se realiza hasta el paso 3, debido a que se encuentran 3 valores nulos, y los otros tres valores son iguales, por lo tanto no se pueden encontrar diferencias, debido a que se presentan datos idénticos, es decir, no se presentan diferencias significativas con los datos obtenidos.

Sistema de indicadores	Ecológico	Convencional	Diferencia
IO	4	4	0
ID	3	0	3
ICA	4	1	3
IR	4	1	3
IFI	3	3	0
IG	3	3	0

Fuente. Elaboración propia con base en Hurtado (2002)