



UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA

Análisis comparativo de la Huella Hídrica en agroecosistemas de la microcuenca Alto Rio Ubaté

Mercedes del Pilar González Martínez

Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá

Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales

Bogotá, Colombia

Año 2016

Análisis comparativo de la Huella Hídrica en agroecosistemas de la microcuenca Alto Rio Ubaté

Mercedes del Pilar González Martínez

Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de:
Magíster en Medio Ambiente y Desarrollo

Director:

Tomás Enrique León Sicard. Agrólogo, Dr.

Línea de Investigación:

Estudios ambientales agrarios

Universidad Nacional de Colombia

Facultad de Ciencias Económicas, Instituto de Estudios Ambientales

Bogotá, Colombia

Año 2016

A mi familia, que siente y vive mis sueños y logros como propios.

Agradecimientos

A la Universidad Nacional de Colombia por permitirme regresar a las aulas e incursionar en campos que me eran desconocidos.

A los Profesores del IDEA por su orientación, especialmente al Profesor Tomás León Sicard por sus comentarios, aportes y acompañamiento durante la investigación.

A mis padres, María Mercedes y José Benigno por su amor, respaldo y apoyo. A Liliana, Laura, José y Fátima por su compañía incondicional, motivación y colaboración.

A María Fernanda Díaz y Laura Victoria Calderón por su apoyo en la elaboración del documento. De igual manera a Fredy Monserrate, Fabio Martínez, Marcela Pinilla, Marco Cubides, Miguel Romero y Wilson Araque por su apoyo en la búsqueda de información y el trabajo de campo. A Andrés Rodríguez por la motivación.

Al Jardín Botánico de Bogotá, José Celestino Mutis y al Programa de estímulos a la Investigación Thomas van der Hammen por la financiación de la investigación.

Resumen

Con el fin de visibilizar y analizar los vínculos entre el agua y la agricultura desde la perspectiva ambiental (relaciones entre cultura y ecosistemas), se identificaron y describieron dos grupos de agroecosistemas de la micro cuenca Alto Río Ubaté (MARU) en función de la tenencia de la tierra y el consumo del agua en monocultivos de papa (*Solanum tuberosum* L.) y pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.).

Se estimó la huella hídrica de los cultivos de papa y pastos para el periodo 2009 – 2014 para los dos grupos de agroecosistemas analizados. Esto se complementó con el análisis cualitativo de los aspectos culturales que determinan el consumo de agua en los cultivos y la estimación de la Estructura Agroecológica Principal (EAP) en fincas ubicadas en la MARU.

Los agricultores arrendatarios sólo siembran papa y su principal objetivo es lograr que el cultivo sea rentable. Obtienen dos cosechas de papa al año y el valor promedio estimado de huella hídrica para este cultivo es de 430,2 m³/t. El valor estimado de huella hídrica para los cultivos manejados por arrendatarios es superior con respecto a los propietarios, quienes destinan parte de la cosecha para el autoconsumo y se preocupan por la protección del suelo y el agua en el territorio. Los propietarios obtienen una cosecha de papa al año y el valor promedio estimado de huella hídrica por ciclo de cultivo de papa es de 422,2 m³/t. Para el cultivo de pasto se estimó un valor 103,3 m³/t por ciclo.

Aunque ambos grupos utilizan un paquete tecnológico similar para el cultivo de la papa, hay diferencias en los valores estimados de huella hídrica que pueden ser explicadas desde el volumen de insumos utilizados, los rendimientos obtenidos, la intensidad en las siembras y las percepciones del agricultor frente al agua y su relación con el agroecosistema.

Palabras clave: agua, agricultura, cultura, naturaleza, papa.

Abstract

In order to visualize and analyze the links between water and agriculture from an environmental perspective (relationships between culture and ecosystems), were identified and described two groups of agro-ecosystems of the Alto Ubaté River Basin (AURB) in function of landownership and the water consumption in potato (*Solanum tuberosum* L.) and kikuyu crops (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.).

The water footprint of potato crops and kikuyu was estimated for the period 2009 – 2014 by the identified agro-ecosystems. This was supplemented with an analysis of cultural aspects links to crop water consumption and the Agro-ecosystem Main Structure (AMS).

The main objective of tenants is to make the potato crop profitable and have the largest potato crop water footprint (430,2 m³/t). The owners, who spend part of the harvest for subsistence and care about the protection of soil and water in the river basin report a potato crop water footprint of 422,2 m³/t, and kikuyu crop water footprint of 103,3 m³/t.

Despite both groups have a similar technology for potato cropping, they have different values on their crops water footprint that can be explained from the volume of inputs used, yields, crop intensity, farmer perceptions and his relationship with the agro ecosystem.

Keywords: water, agriculture, culture, nature, potato.

Contenido

	Pág.
Resumen	IX
Lista de figuras	XIII
Lista de tablas	XIV
Lista de Símbolos y abreviaturas	XVI
Introducción	1
1. Las relaciones entre cultura y ecosistemas	5
1.1 Los límites de la naturaleza.	7
1.2 El metabolismo socioambiental.....	10
1.3 El agua en la agricultura.	13
2. El indicador de huella hídrica	23
2.1 Antecedentes.....	25
2.2 El método y su aplicación en la agricultura.	29
2.3 Limitaciones del método.	31
3. La Microcuenca Alto Río Ubaté (MARU)	37
4. Metodología y análisis de resultados	55
4.1 Revisión de fuentes bibliográficas y bases de datos.	56
4.2 Recorrido preliminar en la MARU.	57
4.3 Diseño, validación y aplicación de la encuesta.	59
4.4 Valoración de la Estructura Agroecológica Principal (EAP).....	62
4.5 Estimación de la huella hídrica de los cultivos de papa y pastos bajo el modelo de propietarios y arrendatarios.	70
4.6 Análisis descriptivo de los agroecosistemas propietarios – arrendatarios.	76
4.7 Relaciones de dependencia entre aspectos culturales y la tenencia de la tierra.	90
4.8 Análisis de correspondencia múltiple entre aspectos culturales respecto a la tenencia de la tierra.....	94
4.9 Valoración de la EAP en agroecosistemas del grupo de propietarios.	101
4.10 Estimación de la huella hídrica.	105
5. Conclusiones y recomendaciones	115
5.1 Conclusiones.....	115
5.2 Recomendaciones.....	119

A. Anexo: Análisis de aspectos culturales determinantes del consumo de agua en cultivos.	125
B. Anexo: Análisis de huella hídrica en cultivos de papa y pastos para los años 2009-2014.....	137
Bibliografía	141

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1-1. “Esquema del ciclo del agua”. Adaptado de (Falkenmark y Rockström, 2006).	15
Figura 1-2. “Esquema de la dinámica del agua en un agroecosistema y su relación con dimensiones ecosistémicas y culturales”. Adaptado de Prochnow <i>et al.</i> (2012).....	18
Figura 2-1. “Esquema de aplicabilidad de la huella hídrica”. Adaptado de Hoekstra <i>et al.</i> (2009, 2011).	24
Figura 3-1. “Modelo de elevación digital de la MARU”.	38
Figura 3-2. “Mapa de la distribución de grupos de suelos en la MARU” (IGAC, 2000).	40
Figura 3-3. “Drenajes superficiales en la MARU”.	44
Figura 3-4. “Precipitación media mensual en la MARU” (CAR y Ambiotec, 2006).	45
Figura 3-5. “Esquema de la dinámica del agua e relación con las actividades productivas reportadas en la MARU”.	48
Figura 4-1. “Esquema metodológico de la investigación”.	55
Figura 4-2. “Imágenes de algunas de las fincas analizadas, donde se observa el área de cultivo respecto al área de la finca”. Polígonos ubicados sobre imágenes de Google Earth, 2015.	58
Figura 4-3. “Distribución unidades catastrales”. Adaptado de IGAC (2009, 2010).	61
Figura 4-4. “Fincas lote 1 y lote 2. Vereda Mortiño, Carmen de Carupa. Cultivos manejados por arrendatarios”.	63
Figura 4-5. Esquema análisis conceptual de orientación de la estimación de la huella hídrica de cultivos priorizados. Adaptado de Hoekstra <i>et al.</i> (2009, 2011) y Salmoral <i>et al.</i> (2011).	71
Figura 4-6. “Esquema de representación de la influencia y pertinencia de los datos aportados por la estaciones hidro meteorológicas El Hato, Novillero y Nazaret en la presente investigación”.	73
Figura 4-7. Esquema que representa la estructura del agroecosistemas manejado por su propietario en la MARU.	77
Figura 4-8. Esquema que representa la estructura del agroecosistemas manejado por un arrendatario en la MARU.	78
Figura 4-9. “Finca Arenal la falda de propiedad de Erlinda Arévalo”.	80
Figura 4-10. "Análisis de correspondencia múltiple de variables categóricas dependientes de la tenencia de la tierra en el componente cultural tecnología”.	97
Figura 4-11. “Análisis de correspondencia múltiple de variables categóricas dependientes de la tenencia de la tierra en el componente cultural organización”.	99
Figura 4-12. Análisis de correspondencia múltiple de variables categóricas dependientes de la tenencia de la tierra en el componente cultural “percepciones sobre el agua”.	101
Figura 4-13. Distribución predial de lotes analizados en la vereda Alisal en Carmen de Carupa con respecto a los relictos de bosque existentes. Elaborado a partir de imágenes e información catastral del IGAC (2009; 2010).	103

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 2-1. Valores de huella hídrica estimados para los cultivos de papa y pastos.....	28
Tabla 3-1. Formaciones geológicas existentes y distribución en la MARU. Adaptado de CAR y JICA (2000).	38
Tabla 3-2. Descripción general de los grupos de suelos existentes en la MARU (IGAC, 2000).	41
Tabla 3-3. Uso del suelo en la MARU. (CAR Ambiotec, 2006, JICA, 2000).....	43
Tabla 3-4. Consumo de agua estimado a partir de concesiones de agua azul para los sectores productivos de la MARU (CAR y Ambiotec, 2006, CAR y JICA, 2000, IDEAM, 2014, Pinto, 2014).....	49
Tabla 3-5. Área sembrada en papa y pastos en la MARU para el periodo 2009-2011 (Gobernación de Cundinamarca, 2010a, 2014).....	49
Tabla 3-6. División política, distribución de la población y servicios públicos en la MARU (Gobernación de Cundinamarca, 2010a, 2014; CAR y Ambiotec, 2006).	50
Tabla 3-7. Propiedad en los municipios de Carmen de Carupa y Ubaté (Gobernación de Cundinamarca, 2010b).....	51
Tabla 4-1. Criterios para la selección probabilística discrecional de la muestra.	59
Tabla 4-2. Dimensiones culturales analizadas y sus componentes.	60
Tabla 4-3. Valores de referencia para la AAM en agroecosistemas de la MARU.	64
Tabla 4-4. Valores de referencia para la ECE en agroecosistemas de la MARU.....	65
Tabla 4-5. Valores de referencia para la DCE en agroecosistemas de la MARU.	65
Tabla 4-6. Valores de referencia para la ECI en agroecosistemas en la MARU.	66
Tabla 4-7. Valores de referencia para la DCI en agroecosistemas de la MARU.....	67
Tabla 4-8. Valores de referencia para la UCS en agroecosistemas de la MARU.	68
Tabla 4-9. Valores de referencia para la MA en agroecosistemas de la MARU.....	68
Tabla 4-10. Valores de referencia para la OP en agroecosistemas de la MARU.....	69
Tabla 4-11. Valores de referencia para la PC en agroecosistemas de la MARU.	69
Tabla 4-12. Valores de referencia para la NCA en agroecosistemas de la MARU.	70
Tabla 4-13. Calendario de siembras en los grupos de agroecosistemas identificados en la MARU.	78
Tabla 4-14. Resultados del análisis descriptivo de los agroecosistemas identificados en la MARU.	79

Tabla 4-16. Fuentes hídricas utilizadas para el suministro de agua en agroecosistemas identificados en la MARU.	82
Tabla 4-15. Manejo de plagas en cultivos de papa en la MARU.	84
Tabla 4-17. Implementos de labranza y preparación del suelo empleados en el cultivo de papa en los agroecosistemas identificados en la MARU.	85
Tabla 4-18. Prácticas de labranza reportadas en la MARU.	86
Tabla 4-19. Asistencia técnica agrícola en la MARU.	88
Tabla 4-20. Vinculación de los agricultores a asociaciones en la MARU.	88
Tabla 4-21. Prácticas y percepciones asociadas al cuidado del agua en la MARU.	89
Tabla 4-22. Valores del estadístico Chi – cuadrado para el análisis de variables tipo dummy para la dimensión tecnología.	90
Tabla 4-23. Valores del estadístico Chi – cuadrado para el análisis de variables tipo dummy para la dimensión organización.	92
Tabla 4-24. Valores del estadístico Chi – cuadrado para el análisis de variables tipo dummy para la dimensión percepciones sobre el agua.	93
Tabla 4-25. Valores calculados para cada uno de los atributos que integran la EAP en fincas manejadas por propietarios en la MARU.	102
Tabla 4-26. Precipitación efectiva anual (mm) estimada a partir de los datos aportados por las estaciones seleccionadas.	105
Tabla 4-27. Valores estimados por ciclo de cultivo para cada uno de los grupos identificados, diferenciando las áreas de influencia de las estaciones hidro meteorológicas utilizadas.	107
Tabla 4-28. Cifras promedio por ciclo de cultivo.	109
Tabla 4-29. Valores estimados de huella hídrica (m ³ /t) para los agroecosistemas identificados.	111

Lista de Símbolos y abreviaturas

Símbolos con letras latinas

Abreviatura o símbolo	Término
HH	Huella hídrica (m ³ /t)
HH _{azul}	Huella hídrica azul (m ³ /t)
HH _{verde}	Huella hídrica verde (m ³ /t)
HH _{gris}	Huella hídrica gris (m ³ /t)
C _{max}	Concentración máxima de un contaminante
C _{nat}	Concentración natural o actual de un agente contaminante en el cuerpo de agua a analizar
CWU _{verde}	Requerimiento de agua verde del cultivo (m ³ /ha)
CWU _{azul}	Requerimiento de agua azul del cultivo (m ³ /ha)
CWU _{gris}	Requerimiento de agua gris del cultivo (m ³ /ha)
EAP	Estructura Agroecológica Principal
EEP	Estructura Ecológica Principal
K _c	Coefficiente uso consuntivo del cultivo
Y	Rendimiento del cultivo (ton/ha)
ADT	Agua disponible total en el suelo
CC	Capacidad de campo % volumétrico
PMP	Punto de marchitez permanente % volumétrico
E	Evaporación
ET _o	Evapotranspiración de referencia
ET _c	Evapotranspiración del cultivo
t	Tonelada
m ²	Metros cuadrados
m ³	Metros cúbicos
Mm ³	Millones de metros cúbicos
Hm ³	Hectómetros cúbicos
m.s.n.m	Metros sobre el nivel del mar
ha	Hectárea

Abreviaturas

Abreviatura	Término
CAR	Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca.
CIAT	Centro Internacional de Agricultura Tropical.
DANE	Departamento Administrativo Nacional De Estadística.
FEDEPAPA	Federación de Productores de papa de Colombia.
FUNDESOT	Fundación para el Desarrollo Sostenible Territorial.
ICA	Instituto Colombiano Agropecuario ICA.
IDEAM	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia.
IGAC	Instituto Geográfico Agustín Codazzi.
JICA	Agencia de Cooperación Internacional del Japón.
MADR	Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.
MARU	Microcuenca Alto Río Ubaté.
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente.
PROCAS	Programa de Conservación de Aguas y Suelos.
PRONAR	Programa Nacional de Riego.
OMM	Organización Mundial de Meteorología.
SINAB	Sistema Nacional de Bibliotecas de la Universidad Nacional de Colombia.

Introducción

La producción agropecuaria es la actividad económica más importante y de mayor relevancia para la comunidad que habita en la microcuenca Alto Río Ubaté (MARU)¹ (Gobernación de Cundinamarca, 2010a; 2014). Las prácticas de manejo de los cultivos han sido el motor que ha transformado el paisaje, mediante el deterioro de los suelos y la alteración de la dinámica del agua en la cuenca (CAR y Ambiotec, 2006).

Al respecto, las comunidades allí asentadas han participado de procesos de cambio en el modelo de producción de los cultivos, a través de iniciativas institucionales con las que han emprendido sus propios programas de innovación en los cultivos y han trabajado por la apropiación y recuperación del territorio.

A pesar de esto, el agua proveniente de las precipitaciones no ha sido suficiente para el mantenimiento de los cultivos, lo que afecta negativamente la producción y los ingresos de los campesinos (Alcaldía Municipal de Carmen de Carupa, 2009).

La MARU, ubicada ubicada en el departamento de Cundinamarca, es una cuenca de tercer nivel perteneciente a la subcuenca de la laguna de Fúquene, que a su vez hace parte de la cuenca del río Suárez (IDEAM, 2013). Allí la agricultura se sustenta principalmente en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) y en el cultivo de pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov.) para el mantenimiento de ganadería de leche (Birbaumer, 2000; Alcaldía Municipal de Carmen de Carupa, 2015; Delgado y Páramo, 2002; Hofstede *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2015).

¹ La papa como cultivo es importante en la producción agrícola nacional, puesto que es un producto de consumo masivo por parte de la sociedad colombiana y constituye un factor de presión sobre las fuentes hídricas en zonas altas y de páramo en el país (Buytaert *et al.*, 2006; Corpoica, 2013; Díaz *et al.*, 2005).

La región tiene una larga historia en relación con la producción agrícola. Así, después de mediados del siglo XX se empezaron a asentar las primeras familias en la región y se empezaba a difundir el cultivo de la cebada, cuyo destino era la industria cervecera, el autoconsumo y la alimentación de ganado. Con la apertura económica, las importaciones de cebada procedentes de Canadá no se hicieron esperar, lo que obligó a los agricultores de este cereal a cambiar su cultivo por el de papa y otras hortalizas. Es así como el cultivo intensivo de papa se consolidó desde finales de la década de los 80 hasta hoy (Delgado y Páramo, 2002; Hofstede *et al.*, 2003; Rodríguez *et al.*, 2015).

Por ser un sistema productivo dependiente de las lluvias, la escasez de agua y la degradación de los suelos han hecho cada vez más difícil el mantenimiento de los cultivos y su productividad. A pesar que las comunidades e instituciones competentes² hacen esfuerzos por proteger y recuperar el suelo y las fuentes hídricas, la escasez de agua se ha convertido en una limitante visible en el paisaje (Birbaumer, 2000; CAR, 2016; Rodríguez *et al.*, 2015).

Si bien el uso de riego representa una alternativa para suplir las necesidades de los cultivos y mejorar los rendimientos, en el caso del sistema productivo de papa no es frecuente esta práctica. Más del 90 % de los agricultores que siembran en las principales zonas de producción del país no utilizan riego (Rojas y Núñez, 2008). En el caso de la MARU, los agricultores manifestaron que dadas las restricciones impuestas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR) y los costos que implica, prefieren no utilizar riego. Argumentan además que el caudal disponible en fuentes superficiales y subterráneas se emplea para satisfacer el consumo humano y eventualmente de los animales (ganado bovino).

Por lo anteriormente expuesto, se considera importante comprender cómo la comunidad se ha relacionado con el agua, desde las prácticas de manejo de sus cultivos, sus percepciones y la organización.

² Los agricultores destacan la actuación de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), por las acciones de educación, conservación y eventualmente, de sanción. En la región existen experiencias para la protección de suelos y aguas. La más relevante es el proyecto Checua-PROCAS (Zamudio y León, 2008), cuya área de trabajo incluyó algunos sectores de la MARU, y las actividades de transferencia aún están presentes para los agricultores de la región (Birbaumer, 2000, CAR y Ambiotec, 2006).

Al respecto, se considera pertinente generar aportes metodológicos y conceptuales para comprender cómo una actividad humana, que se desarrolla en el marco de los límites biofísicos de la naturaleza, está determinada por la cultura. Para visibilizar los vínculos entre cultura y ecosistemas a través del consumo del agua en la producción agrícola, es necesario estimar la magnitud de la apropiación por parte del sistema productivo. Dicha estimación cuantitativa debe ser comprendida y explicada desde la perspectiva ambiental, sobre cómo las relaciones entre cultura y ecosistemas determinan la huella hídrica en la producción primaria.

Para lograr lo previsto, se plantearon tres objetivos específicos que orientan el desarrollo conceptual y metodológico de la presente investigación. En primer lugar se identificaron los elementos culturales que determinan el consumo de agua en cultivos de papa y pasto kikuyo en agroecosistemas ubicados en la MARU. Si bien la dinámica del agua debe analizarse a nivel de cuenca, por ser del interés de esta investigación analizar los sistemas de producción de papa y pastos en la MARU, se consideró pertinente determinar los aspectos culturales a nivel del agroecosistema mayor³, valiéndose además de la Estructura Agrocológica Principal (EAP) de algunas fincas.

En segundo lugar se estimó el volumen de agua incorporada en la producción primaria de papa y pastos en la MARU, a través de la cantidad de agua consumida por dichos cultivos a lo largo de su ciclo productivo utilizando el indicador de huella hídrica para el periodo comprendido entre los años 2009 y 2014⁴.

Finalmente se analizaron los valores de huella hídrica estimados en los cultivos asumiendo el manejo dado por propietarios y arrendatarios, con el fin de explicar el resultado en términos de los determinantes culturales del consumo de agua en los cultivos de los agroecosistemas identificados en la MARU así como desde la Estructura Agroecológica Principal (EAP) de algunas fincas analizadas.

³ León (2014) define dos tipos de agroecosistema: el mayor o finca y el agroecosistema menor, que corresponde a los cultivos, praderas y sistemas agroforestales ubicados al interior de la finca o agroecosistema mayor.

⁴ Se seleccionó este periodo de tiempo en consideración a la disponibilidad de la información para los análisis propuestos.

Se espera que el principal aporte de este trabajo sea de tipo metodológico, relacionado con la identificación de elementos culturales que condicionan el consumo de agua en algunos agroecosistemas, como complemento necesario al análisis de huella hídrica. Se proponen análisis cuantitativos y cualitativos que den cuenta, parcialmente, de un asunto tan complejo como la dinámica del agua en los agroecosistemas.

1. Las relaciones entre cultura y ecosistemas.

Para investigar en lo ambiental, es necesario enmarcar el análisis en las relaciones que transcurren entre las culturas y los ecosistemas, donde ambas dimensiones son complejas. En la presente investigación, la cultura involucra las formas de vida, comportamientos y percepciones de las personas con respecto a su entorno y a ellos mismos.

Es una plataforma compleja que rige el comportamiento social a través de las formas de conocer los valores aprendidos y creados en una comunidad que habita y transforma un territorio (Bermúdez, 2003; Heyd, 2011). Al respecto, Ángel (2013) destaca en la definición de cultura las tradiciones técnicas, sociales y simbólicas de la sociedad, por lo que establece tres componentes fundamentales: la organización, la tecnología y los símbolos de la cultura como mecanismos de la especie humana para sobrevivir, evolucionar, adaptarse y relacionarse con los ecosistemas y el territorio.

Hace referencia a la organización social, como todas las formas de relacionamiento social, económico, político y militar que han surgido a lo largo de la historia de la humanidad.

En cuanto a las construcciones teóricas, percepciones e imaginarios que la sociedad utiliza para explicar sus relaciones con el resto de la naturaleza, son definidas como los símbolos de la cultura, que son transmitidos de una generación a otra. En esta categoría se incluyen los mitos, la ciencia, los valores, creencias y costumbres que son características de cada sociedad (Ángel, 2013).

Sobre la tecnología, Ángel (2013) la define como la materialización de los conocimientos en forma de herramientas, procesos e instrumentos que le permiten transformar el entorno, para apropiarse de materiales y energía de la naturaleza. Se encuentra fuertemente ligada y se puede decir que direccionada, tanto por la organización como por los símbolos de la cultura.

Para la comprensión de las relaciones que transcurren entre culturas y ecosistemas, así como el origen de los desequilibrios y conflictos ambientales, es necesario analizar las actividades productivas de la sociedad en términos de su metabolismo, de cómo los ciclos de materiales y flujos de energía que atraviesan la sociedad, son orientados por la cultura, que además define su estructura y funcionamiento (Madrid *et al.*, 2013).

Aunque la humanidad y la cultura son el resultado de la evolución en la naturaleza, la demanda de materiales y energía por parte de la sociedad es incoherente con los ciclos de estos en la naturaleza. La sociedad actual se encuentra por fuera del orden de la naturaleza, incluso de sus límites biofísicos, por lo cual debe buscar estrategias para mantenerse en equilibrio con su entorno (Ángel, 2013; Berkes *et al.*, 2003; Fischer-Kowalski *et al.*, 2011).

El optimismo tecnológico, la supremacía de la ciencia y la necesidad de mantener el crecimiento económico, han hecho que la racionalidad humana se haya desvinculado de la base ecosistémica y material que sustenta los sistemas productivos humanos (Leff, 2004; Toledo, 2006). Esta visión totalizadora, ha trascendido el conocimiento, la política, la producción de bienes y servicios, la ciencia y la tecnología. Ha privilegiado al capital como el principal factor de producción, a tal punto que hay quienes plantean que puede llegar a sustituir la naturaleza, incluso dejando de lado a las personas y su cultura (Daly, 2013).

Esta percepción contradictoria de percibir la realidad, donde la naturaleza es solamente una fuente ilimitada de recursos y la cultura ha sido subvalorada, ha traído consigo una crisis civilizatoria, expresada en deterioro y conflictos ambientales que afectan tanto a humanos como a no humanos (Ángel, 2015; Leff, 2004).

Es necesario reincorporar en la sociedad los valores de la diversidad ecológica y cultural, cuya integridad permitirá reorientar la producción hacia la satisfacción de necesidades, del mismo modo que al reconocimiento de la complejidad e incertidumbre propias de sistemas ecológicos y sociales, la diversidad y los valores culturales, la naturaleza como sustento de la vida y los límites físicos de los ecosistemas (Bermúdez, 2003).

En consideración a lo expuesto, es necesario visibilizar y comprender cómo la ideología de las personas, sus percepciones e imaginarios, así como la tecnología inciden en la conformación de fundamentos éticos de comportamiento frente a la naturaleza (Bermúdez, 2003).

1.1 Los límites de la naturaleza.

Las actividades económicas y productivas de la humanidad están enmarcadas en la biosfera, de manera que su intensidad y magnitud deben ser medidas y cuantificadas en términos biofísicos. Un medio adecuado para hacerlo, es a través de la cuantificación de los flujos de energía y los ciclos de materiales que atraviesan un sistema productivo y definen su metabolismo.

A través de actividades como la agricultura, la humanidad ha transformado el territorio e intervenido el funcionamiento de muchos ecosistemas. Al igual que otras actividades productivas humanas, ésta depende de la existencia y funcionamiento de los ecosistemas, por lo que está condicionada a los límites biofísicos de la naturaleza (Gómez y Rico, 2009).

Los tiempos de uso y apropiación de materiales para suplir los requerimientos de los sistemas productivos humanos deben guardar coherencia con la disponibilidad y tasa de renovabilidad de la naturaleza, asumiendo sus límites físicos como el permiso o autorización para acceder a ella (Mesa, 2013).

Con la publicación del informe Meadows sobre los límites del crecimiento en 1972, la sociedad empezó a cuestionarse sobre los límites físicos de la naturaleza ante el evidente deterioro ambiental (PNUMA, 2012).

Los límites de la naturaleza se han definido como la capacidad de carga que tiene el planeta para sustentar la demanda de materia y energía de la sociedad sin afectar el pleno funcionamiento de los ecosistemas. Se puede relacionar con los umbrales de capacidad para aportar materiales, energía y ser sumidero de residuos, vinculando los límites a la expresión de problemas ambientales a escala global como el cambio climático, la tasa de pérdida de biodiversidad, la interferencia y alteración de los ciclos del nitrógeno y el fósforo,

el agotamiento de la capa de ozono, la acidificación de los océanos, la escasez de agua, el cambio en el uso del suelo y la erosión (Daly, 1990; Fang *et al.*, 2015; Molden, 2007; PNUMA, 2012).

Dichos límites pueden relacionarse con el concepto de capital natural, definido como el stock mínimo de naturaleza necesario para mantener los flujos de materia y energía que sustentan los ecosistemas y la sociedad. Al respecto se plantea la existencia de cuatro tipos de capital⁵: manufacturado, humano, organizacional y natural. Cada uno de estos capitales genera flujos que sirven de entradas a los sistemas productivos (Berkes *et al.*, 2003; Ekins *et al.*, 2003).

El capital natural hace referencia a funciones ecosistémicas, como el suministro de materiales y energía para la producción de bienes en la sociedad, la asimilación y absorción de residuos generados por ella, las funciones de soporte vital que permiten mantener el equilibrio en los ecosistemas, la atmósfera, la capa de ozono y las amenidades (Pearce y Turner, 1995). Cuando la sociedad afecta y altera algunas de estas funciones, significa que la magnitud de sus actividades productivas está afectando y deteriorando el capital natural.

Al respecto, Azar *et al.* (1996) plantean que para respetar los límites de la naturaleza, la sociedad debe considerar tres principios:

- a. Los materiales extraídos de la litosfera no deben ser acumulados sistemáticamente en la ecosfera.
- b. La productividad de las actividades humanas no debe comprometer la funcionalidad de los ecosistemas ni la biodiversidad.
- c. El uso de los materiales y energía provenientes de la naturaleza debe ser eficiente y justo con respecto a humanos y no humanos.

⁵ Aunque esta visión es cuestionable por el hecho de fragmentar la naturaleza y desconocer su inconmensurabilidad y complejidad, aporta elementos útiles para comprender los límites de la naturaleza.

Por su parte Rockström *et al.* (2009) proponen nueve límites biofísicos en los que la humanidad puede desarrollarse y que de ser transgredidos podrían generar catástrofes impredecibles. Indican que por ser procesos dinámicos no lineales, no se pueden predecir los efectos de su transgresión y proponen algunos rangos de referencia, los cuales se resumen a continuación:

- a. Cambio climático: definen un rango en términos de la concentración de CO₂.
- b. Acidificación de los océanos: definen un rango en términos de la concentración de Aragonita.
- c. Concentración de ozono estratosférico: en términos de la reducción del porcentaje de concentración de O₃.
- d. Ciclo biogeoquímico del nitrógeno (N) y fósforo (P): rango de aporte anual por parte de fuentes antrópicas.
- e. El consumo mundial de agua dulce: volumen de uso consuntivo⁶ de agua azul proveniente de fuentes hídricas superficiales y subterráneas.
- f. El cambio de uso del suelo: rango de área de suelo nuevo dedicado a la agricultura.
- g. Pérdida de la biodiversidad: tasa anual de extinción de especies.
- h. Contaminación química: sin límite definido.
- i. Carga de aerosoles atmosféricos: sin límite definido.

Otra forma de plantear y comprender los límites de la naturaleza, es a través de la estimación y cuantificación de la apropiación de la naturaleza por parte de la sociedad. Al respecto, se encuentra el concepto de huella, como la marca que deja la sociedad en la naturaleza mediante la alteración de sus ciclos (Fang *et al.*, 2015).

La huella ecológica se define como el área mínima requerida para suplir la demanda de la población, en términos de biodiversidad y captura de carbono, en un periodo de tiempo determinado (Rees, 1992; Wackemagel y Rees, 1997; 1998).

⁶ El uso consuntivo del agua se refiere al volumen de agua extraída de una fuente superficial o subterránea (agua azul), que se evapora, transpira o se incorpora a diversos sistemas productivos. Deja de estar disponible para otros usos en el sitio de origen, por lo que no se puede equiparar a la diferencia entre el volumen de agua extraída y el volumen de agua descargado (OMM, 1994).

Posteriormente aparecen desarrollos conceptuales y metodológicos semejantes como la huella hídrica, la huella química, la huella de nitrógeno y la huella de fósforo, entre otros, que dan cuenta de la incorporación de materiales respecto a la disponibilidad de los mismos en un tiempo y lugar determinados, siendo útiles en la comprensión y cuantificación de los límites de la naturaleza (Fang *et al.*, 2015).

El desarrollo de metodologías para estimar y cuantificar los límites de la naturaleza sigue siendo incipiente y se requiere de mayor investigación. Incluso, es pertinente trabajar en la estimación del grado de conservación de los límites respecto de las condiciones ambientales actuales. Es necesario avanzar en métodos que incorporen la incertidumbre y el principio de precaución, que constituyan una base científica sólida de referencia común.

Rockström *et al.* (2009) encontraron que los métodos existentes tienen implícitos la incertidumbre, la subjetividad y la arbitrariedad. Los análisis de huella integran un grupo de métodos utilizados frecuentemente para cuantificar el consumo como una medida de la apropiación de materiales en un contexto donde se visibilizan los límites físicos, derivados de modelos cuantitativos, ampliamente aceptados en cuanto a su transparencia y reproducibilidad en las ciencias básicas (Lovarelli *et al.*, 2016). No obstante, los métodos de cálculo de las huellas han sido objeto de estandarización y ajustes, lo que los mantiene como modelos que continúan en construcción (Fang *et al.*, 2015).

1.2 El metabolismo socioambiental.

La naturaleza impone límites a la sociedad. Sin embargo, para comprender las relaciones entre cultura y ecosistemas, es necesario entender cómo la sociedad intercambia materiales y utiliza la energía en sus sistemas productivos. Además, es necesario comprender aspectos no materiales que determinan el metabolismo como la tecnología, las relaciones sociales, las instituciones, las formas de conocer, las percepciones sobre la naturaleza y la propiedad de la tierra. En su conjunto, estos aspectos integran la cultura y son determinantes de la magnitud y funcionamiento del metabolismo de la sociedad.

El crecimiento del sistema económico y productivo de la sociedad, el aumento del intercambio de materiales con la naturaleza y del uso de la energía plantean la necesidad de analizar y cuantificar la magnitud en el uso y apropiación de la naturaleza en relación con sus límites biofísicos.

Al respecto Georgescu-Roegen (1986), propuso un modelo para explicar las relaciones entre cultura y ecosistemas, mediante los flujos de energía y ciclos de materiales que circulan y fluyen desde la naturaleza hacia la sociedad y viceversa, en forma de residuos y energía disipada de alta entropía (Daly, 2013). Son precisamente los intercambios de materia y flujos de energía entre economía y naturaleza, los que definen el régimen metabólico de una sociedad (Fischer-Kowalski, 1997; Fischer-Kowalski *et al.*, 2011).

Dicho régimen metabólico puede ser cuantificado en términos de los flujos de energía y ciclos de materiales que atraviesan la sociedad y que le permiten relacionarse como un subsistema más de la naturaleza en periodos definidos de tiempo. Se puede decir que el metabolismo de la sociedad está definido por las fuentes de materiales y energía utilizadas, así como la tecnología empleada para colonizar los ecosistemas y apropiarlos para su beneficio (Sierfe, 1997 citado por Fischer-Kowalski *et al.*, 2011).

La producción de bienes y servicios requeridos para el metabolismo de una sociedad, está condicionada por sus valores, creencias y prácticas (Angel, 1995; Heyd, 2011). A lo largo de la historia, la humanidad ha exhibido diferentes regímenes metabólicos, es decir, modelos de producción y de subsistencia, cuyas características sistémicas dependen de la manera en que la sociedad transforma el territorio, la tecnología utilizada, la estructura organizacional y los símbolos de la cultura.

El metabolismo es la completa integración de procesos físicos que convierten materias primas, energía y trabajo, en productos terminados y residuos. El enfoque conceptual del metabolismo busca ampliar el conocimiento y la comprensión sobre el uso de los recursos naturales por parte de la sociedad y los efectos generados en los ecosistemas, entendiendo que tanto la sociedad como los ecosistemas son complejos y que existen unos determinantes culturales que orientan el comportamiento social, por tanto las decisiones y modelos de producción.

En el caso particular del agua, la sociedad procura suplir la demanda de las personas y los sistemas productivos en calidad y cantidad. A medida que se suplen estas necesidades, se altera el ciclo hidrológico por desviación o retención temporal de flujos de agua, limitando el uso compartido y otros usos excluyentes (Aguilera, 1991, 1994; IDEAM, 2014; Toledo, 2006).

La escasez⁷ del agua es un tema de interés mundial, puesto que constituye una amenaza para la civilización actual, ya que la funcionalidad de los ecosistemas y las actividades productivas que integran la economía dependen de la disponibilidad de agua en calidad y cantidad (PNUMA, 2012).

Hoy existen conflictos causados por las diferentes posibilidades de usos del agua, lo que acarrea escasez y se manifiesta a través de la competencia cuantitativa y cualitativa⁸. La escasez de agua en un territorio puede acentuarse por la existencia de un comportamiento cultural derrochador o despreocupado (Aguilera, 1994), de ahí que se considere importante entender los determinantes culturales de la apropiación del agua a través de las actividades productivas humanas.

Son estos determinantes culturales los que explican de alguna manera el modelo productivo actual, sustentado en altos consumos de materiales y el desarrollo de tecnologías que faciliten su extracción intensiva. Es así como la humanidad ha logrado intervenir los sistemas hídricos para su beneficio y modificar los ciclos del agua a través de la litósfera y la atmósfera (Silva, 1998). Se puede decir que existe un desequilibrio entre la demanda de la sociedad y la disponibilidad física del agua, generando importantes conflictos ambientales (Madrid *et al.*, 2013).

⁷ La escasez de agua tiene que ver con el acceso de la sociedad y los ecosistemas para su funcionamiento. Se habla de escasez física cuando la demanda social supera la oferta, limitando o negando el acceso al agua para otros fines y propósitos, como por ejemplo el mantenimiento mismo de los ecosistemas.

Se habla de escasez económica, cuando a pesar de estar el agua disponible para su uso, el acceso es difícil o limitado, debido a la falta de inversión e infraestructura para extraer, conducir y transportar el agua hacia los sitios donde se requiere. También refiere el uso despilfarrador y la falta de incentivos para lograr un uso adecuado y ahorrador del agua mediante una asignación eficiente (Gibbons, 1996 citado por Aguilera, 1993).

⁸ Hace referencia a escasez cuantitativa, cuando se limita el volumen de agua disponible para un fin o uso determinado. En cuanto a la escasez cualitativa, se refiere a la calidad del agua disponible y el volumen de agua requerido para la asimilación y dilución de contaminantes (agua gris) (Aguilera, 1991).

Tal vez lo que más preocupa a la sociedad respecto al agua es su disponibilidad y calidad, condicionadas no solamente por aspectos físicos sino también por los hábitos de consumo, comportamiento de despilfarro, uso inadecuado del suelo y el establecimiento de sistemas productivos cuyas demandas de agua superan la oferta de la cuenca (Aguilera, 1993).

La renovabilidad del agua depende hoy del comportamiento humano, al convertir en agotable lo que era renovable. Al respecto Aguilera (1994) indica que el agua es un valor social y ético, resaltando el papel de las decisiones de las comunidades sobre su uso, manejo y asignación; una oportunidad de producir y subsistir. Es un factor de cohesión social y ambiental, por lo que al ser tratada o concebida como una mercancía, puede originar situaciones de conflicto (Aguilera, 1991).

1.3 El agua en la agricultura.

El agua es una condición necesaria para el sostenimiento de la sociedad y los ecosistemas. También lo es para el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que participa de funciones vitales como la fotosíntesis, transpiración, elongación y funcionamiento celular, movilización y translocación de nutrientes y minerales.

A nivel mundial, la agricultura demanda más del 70% del volumen de agua utilizado por la humanidad (Boelee *et al.*, 2013; Bringezu *et al.*, 2014; Molden, 2007; PNUMA, 2012). En Colombia el sector agrícola es el que mayor volumen de agua utiliza a nivel nacional, con un gasto reportado de 16.760,33 Mm³ de agua para el año 2014, equivalentes al 46% del volumen total utilizado en el país. A la agricultura la siguen la generación de energía (21,5%), la producción pecuaria (8,5%), el uso doméstico (8,2%), la industria (5,9%) y otros usos (9,9%) (IDEAM, 2014).

Se ha dado prioridad a la producción de alimentos, mediante la intensificación de las siembras; sin embargo el aumento en los rendimientos y la productividad de los cultivos de las últimas décadas se ha logrado gracias al modelo tecnológico implementado, sustentado en el uso intensivo de los insumos. Esto ha acelerado los procesos de degradación de los suelos, la acumulación de residuos de fertilizantes y plaguicidas en los

ecosistemas, la pérdida de la biodiversidad, el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero por el cambio de uso del suelo y el agotamiento de las fuentes hídricas (Boelee *et al.*, 2013; Bringezu *et al.*, 2014).

Un 38% de los suelos cultivados a nivel mundial se encuentran degradados, haciendo que cada vez se intervengan más y nuevas áreas, a la vez que se remueve la vegetación nativa, alterando las coberturas y el régimen de evapotranspiración, que a escala global afecta el ciclo hidrológico (Bringezu *et al.*, 2014; Fleiner *et al.*, 2013; Pérez *et al.*, 2011; PNUMA, 2012; Qadir *et al.*, 2012; Toledo, 2006).

En el caso de Colombia, el 38,6 % del área rural dispersa se dedica a actividades agropecuarias (43,1 Mha), donde el 79.7 % se ocupa con pastos y rastrojos (cerca de 34,3 Mha) y el 20,3 % se dedica al uso agrícola (cerca de 7,1 Mha).

La búsqueda de nuevas áreas para el cultivo de papa en el país, con una menor incidencia de plagas y suelos más fértiles, hacen que los agricultores ocupen tierras del páramo y los bosques de niebla, ecosistemas de alta funcionalidad para captar, almacenar y regular el movimiento del líquido (Buytaert *et al.*, 2006; Díaz *et al.*, 2005). Estos cambios en la vegetación afectan el balance hídrico en la cuenca, la interceptación del agua en las copas de los árboles, el flujo caulinar, la escorrentía, la evapotranspiración y el almacenamiento o pérdida por lixiviación en el suelo.

El aporte de agentes contaminantes derivado de la agricultura es significativo (Qadir *et al.*, 2012). Los aportes de fósforo y nitrógeno por cuenta de la fertilización de cultivos generan problemas de eutrofización a nivel mundial (Hart *et al.*, 2004) así como de la calidad del agua en fuentes superficiales y subterráneas (IDEAM, 2014).

De igual manera, los plaguicidas aplicados a los cultivos pueden ocasionar problemas en la salud de las personas, los animales y los seres vivos en general (Schulz, 2004). Al respecto el IDEAM (2014) reportó aportes significativos de residuos de plaguicidas a las fuentes hídricas en Colombia, especialmente organofosforados y carbamatos.

Se ha enfatizado en el desarrollo de nuevas tecnologías para una mayor eficiencia en la captación y el uso de agua proveniente de fuentes superficiales y subterráneas. A pesar

de estos esfuerzos, el agotamiento de las fuentes superficiales y subterráneas asociados a la agricultura es considerable (Aguilera, 1994; Allan, 1998; Hoekstra *et al.*, 2011; Molden, 2007; PNUMA, 2012).

Rockström *et al.* (2009) han analizado el ciclo del agua en el contexto de la agricultura y han realizado algunos aportes conceptuales, destacando la importancia de las fuentes de agua superficial y subterránea, las precipitaciones y la humedad almacenada en el suelo.

Estos autores agrupan la lluvia y la humedad acumulada en el suelo en lo que denominan agua verde, la cual representa el 75% del total de agua que se consume en la agricultura a nivel mundial. El agua proveniente de fuentes superficiales y subterráneas se denomina agua azul y representa el 25% restante. Por último, el volumen de agua requerido para diluir y asimilar agentes contaminantes generados en una actividad productiva hasta alcanzar los parámetros de calidad local, se denomina agua gris.

Muchos análisis sobre el agua en el contexto de la agricultura se concentran en la eficiencia en la conducción y uso de agua azul. No obstante hay un creciente interés por vincular en los análisis el agua verde y gris (Falkenmark y Rockström, 2006). A continuación se presenta un esquema que describe el ciclo del agua, enfatizando en los aportes conceptuales de los autores sobre el consumo del agua en actividades productivas (figura 1-1).

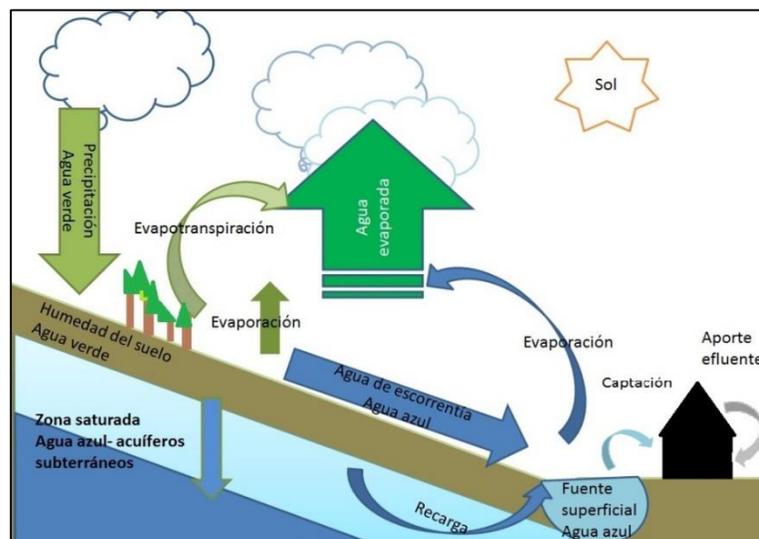


Figura 1-1. "Esquema del ciclo del agua". Adaptado de (Falkenmark y Rockström, 2006).

El uso consuntivo de agua de un cultivo incluye el volumen de agua transpirada por las plantas, la evaporación del agua contenida en el suelo y la existente en los diferentes estratos de cultivos. Es parte del flujo de agua verde, que puede retornar a la atmósfera en forma de vapor (Falkenmark, 2003).

El agua superficial contenida en ríos, lagos lagunas, así como en acuíferos subterráneos, constituye lo que se denomina agua azul. Representa una tercera parte del agua dulce disponible a nivel mundial y contribuyen mediante la evaporación a la formación de nubes y precipitaciones. Es aquí donde se debe considerar el agua lluvia como un componente importante del agua dulce (Falkenmark y Rockström, 2006).

El agua lluvia es una forma indiferenciada de agua dulce que puede convertirse tanto en flujo verde como azul, dependiendo de su destino en la superficie terrestre y su distribución en el suelo. Su productividad se asocia al uso consuntivo de la vegetación (Rockström *et al.*, 2009).

En el caso de Colombia, se reporta que el 93% de las unidades de producción agrícola del área rural dispersa tienen acceso al agua para suplir las necesidades de la finca, proveniente principalmente de fuentes superficiales (37.3%), agua lluvia (18%), acueducto (17%), pozo (13.2%) y fuente superficial con sistema de captación (4%). Sin embargo un 54,6% de estas unidades de producción tienen dificultades para utilizar al agua en agricultura y ganadería, debido a la escasez de agua, falta de infraestructura, contaminación y restricciones legales (DANE, 2014). Debido a la escasez de agua, cerca de un 77 % de los agricultores encuestados por el DANE expresaron implementar alguna práctica para el cuidado del agua.

El agua en el agroecosistema.

Como ya se mencionó, la agricultura depende de la disponibilidad de agua y de manera recíproca interviene y modifica la dinámica del agua. Para lograr una aproximación, es necesario tomar la finca o agroecosistema, un sistema complejo donde se pueden visualizar las relaciones entre componentes culturales y ecosistémicos que afectan la dinámica del agua.

Al respecto León (2014) definió el agroecosistema como “*el conjunto de relaciones que suceden entre suelos, climas, plantas cultivadas, organismos de diferentes niveles tróficos, plantas adventicias y grupos humanos en determinados espacios geográficos, cuando son enfocadas desde el punto de vista de sus flujos energéticos y de información, de sus ciclos de materiales y de sus relaciones simbólicas, sociales, económicas, militares y políticas, que se expresan en distintas formas tecnológicas de manejo dentro de contextos culturales específicos*”.

El consumo de agua en el agroecosistema está condicionado en principio por aspectos biofísicos como el clima, el régimen de precipitación, el relieve, las coberturas existentes y el suelo. Este último es fundamental cuando se habla de agricultura de secano, pues aporta el agua requerida por las plantas y participa del ciclo hidrológico.

El suelo es el soporte de las plantas y cultivos que existen en la finca, es fuente de nutrientes, constituye un reservorio de agua, un medio de recarga de acuíferos subterráneos y es donde tienen lugar procesos biogeoquímicos de compuestos orgánicos e inorgánicos. Su uso, conservación y degradación están asociados directamente con las actividades del hombre, que en el caso del agroecosistema se asocian a las prácticas de labranza, siembra, riego y las coberturas establecidas.

El movimiento del agua en el suelo está íntimamente relacionado con las prácticas de labranza y con las coberturas existentes. Los implementos de labranza y la intensidad en el uso, pueden generar problemas de compactación con el paso del tiempo. De la misma forma que el manejo del agua de riego⁹, puede generar problemas de salinidad, que traen consigo alteraciones químicas y físicas que limitan el desarrollo de las plantas.

Las coberturas existentes y su régimen de evapotranspiración están asociados a factores intrínsecos (especie, variedad, estado fenológico, entre otros) y extrínsecos asociados al clima, las decisiones y el manejo dado por el agricultor.

⁹ Respecto al riego, permite el acceso al agua en sitios donde no era posible llevarla. Sin embargo el establecimiento de un sistema de riego incrementa los consumos de agua en los cultivos. Esta situación puede limitar el acceso de otros cultivos y de comunidades aguas abajo, pues altera la dinámica del agua en una cuenca o región.

Se puede afirmar que en la finca, la dinámica del agua obedece a factores ecosistémicos y culturales. La funcionalidad del agroecosistema depende de manera recíproca de la calidad y disponibilidad del agua, condicionada muchas veces por la intervención humana. Los ciclos del líquido están determinados por decisiones de uso y manejo del suelo.

Con el fin de generar una aproximación compleja a la dinámica del agua en el agroecosistema, en la figura 1-2 se presentan algunos aspectos y relaciones que transcurren a nivel del agroecosistema en torno al uso del agua, como una aproximación a la comprensión de los efectos de la producción de cultivos sobre la dinámica del componente hídrico.

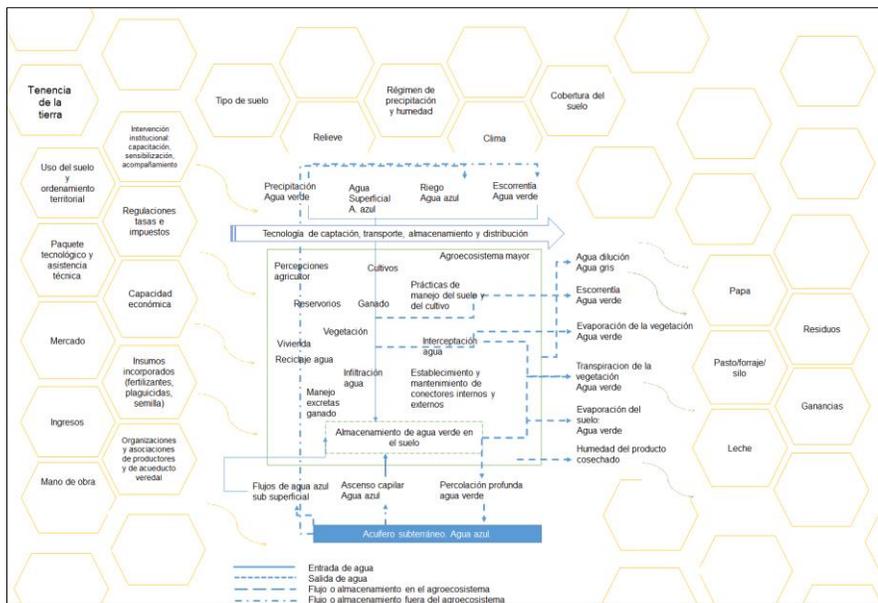


Figura 1-2. "Esquema de la dinámica del agua en un agroecosistema y su relación con dimensiones ecosistémicas y culturales". Adaptado de Prochnow *et al.* (2012).

Como se observa en la figura 1-2, los aspectos culturales, entendiéndose como la tecnología, las percepciones y la organización, influyen en la dinámica del agua. Por ser del interés de esta investigación, a continuación se describen algunos de estos aspectos.

Cultivos establecidos y su manejo: La sociedad decide adoptar sistemas productivos y ciertas prácticas de manejo que le permitan satisfacer sus requerimientos de alimentos y materias primas, suscritos en el contexto del comercio local e internacional. La decisión del agricultor sobre las actividades que realiza en la finca está determinada por la dinámica del mercado, el ingreso, el acceso a crédito, los títulos de propiedad, la asistencia técnica,

el acompañamiento institucional, los servicios de extensión e investigación, la infraestructura y tecnología disponible, la dinámica del mercado local e internacional¹⁰ y las políticas públicas entre otros factores (León, 2014).

Con el fin de aumentar la productividad de los cultivos, por ende los ingresos, se han adoptado paquetes tecnológicos enmarcados en el modelo de revolución verde, que implica el uso intensivo de insumos, variedades seleccionadas y mejoradas de alto rendimiento y la implementación de sistemas de riego y labranza del suelo.

La transferencia de tecnología se ha enmarcado en la dinámica del mercado, enfocándose en mantener una oferta constante en volumen y cantidad (Forero *et al.*, 2002; León, 2014). Para el uso y manejo del agua se han enfocado esfuerzos en la implementación de adecuaciones y sistemas de riego para suplir los requerimientos hídricos cuando las precipitaciones no son suficientes, así como para mejorar el drenaje en las plantaciones y evitar problemas asociados al encharcamiento.

Es así como algunas agremiaciones buscan homogenizar y masificar la producción de cultivos considerados estratégicos, difundiendo paquetes tecnológicos estandarizados, garantizando el suministro de insumos (fertilizantes, semillas) y estableciendo canales de comercialización. Cuando la organización de productores dispone de un área de investigación y desarrollo, se observa la validación permanente de estrategias de manejo, enfocadas en el aumento de los rendimientos. Algunas agremiaciones vienen trabajando por la implementación de prácticas para la recuperación y protección del suelo así como para el uso más eficiente del agua (Forero *et al.*, 2002).

Tenencia de la tierra: El acceso a un espacio productivo está vinculado a la tenencia de la tierra. La finca es una unidad de producción y de consumo, cuya finalidad es la reproducción de la familia y de la sociedad. En el caso de los agricultores arrendatarios,

¹⁰ Las especies de cultivo establecidas y la intensidad de las siembras dependen de la dinámica de consumo interno así como del comercio internacional. Es así como en Colombia se ha trazado una estrategia para lograr el aumento de las áreas sembradas de ciertos productos que son considerados promisorios y los cuales el país es competitivo precisamente por las condiciones agroecológicas que favorecen los rendimientos y calidad de los productos cosechados (MADR, 2016). Esto se complementa con la política de riego y adecuación de tierras, encaminada a satisfacer la demanda local y externa de productos que generan ventajas comparativas.

su propósito es obtener el mayor provecho y rentabilidad de su inversión durante el tiempo en que la finca va a estar a su disposición. En la medida en que disponga de recursos, ampliará su capacidad de producción, alquilando un área mayor para la siembra (Forero, 2003) y esto puede motivar la ampliación de la frontera agrícola.

Más que el título de propiedad de un agricultor sobre un agroecosistema, son sus percepciones las que definen su relacionamiento y dependencia para con la finca. El que tenga una perspectiva productivista, conservacionista o de subsistencia da lugar a que vea el agroecosistema como una fuente de ingreso temporal o como su hogar, un lugar donde debe trabajar por conservar o mejorar las condiciones del suelo y diversificar los cultivos que le darán sustento. El sentido de pertenencia y arraigo por la finca pueden influir en las decisiones que tome con respecto al uso del suelo.

Cuando la mano de obra vinculada al sistema productivo es netamente familiar, el aprovechamiento de la finca se hace pensando en la reproducción y sostenimiento de la familia en ese lugar, teniendo presente la remuneración, productividad y mantenimiento de la finca de manera que siga siendo el sustento en el largo plazo.

En contraste, aquellos sistemas productivos donde el jefe o propietario de la producción contrata personal y cuya producción se dirige exclusivamente al mercado, ajusta sus procesos pensando únicamente en lograr el acceso a compradores especializados. Se puede pensar que la figura de la familia en la producción y del trabajo en la finca puede marcar una diferencia en cuanto a la protección y conservación del suelo y el agua (Lamarche, 1994 citado por Forero *et al.*, 2002).

Diversidad de especies y cobertura del suelo: Las percepciones e intereses del agricultor se ven reflejados en el manejo de la vegetación, cuyos componentes establecen relaciones estructurales y funcionales que se pueden evidenciar espacial y temporalmente en la Estructura Agroecológica Principal (EAP)(León, 2014).

La EAP se define como “*la configuración o arreglo espacial interno del agroecosistema mayor (la finca) y la conectividad entre sus distintos sectores, parches y corredores de vegetación o sistemas productivos (agroecosistemas menores), que permite el movimiento y el intercambio de distintas especies animales y vegetales, les ofrece refugio, hábitat y*

alimento, provee regulaciones micro climáticas e incide en la producción, conservación de recursos naturales y en otros aspectos ecosistémicos y culturales”.

La configuración interna de la finca y la conectividad entre la vegetación existente y los cultivos, permite el desplazamiento de individuos animales y vegetales, favorece la regulación micro climática e incide en la producción, conservación de los ecosistemas de soporte y de los aspectos culturales de las comunidades (León, 2014).

La diversificación de especies vegetales al interior del agroecosistema favorece funciones del agroecosistema como la protección del suelo de los efectos de la radiación solar directa, el agua y el viento, favorece y mejora aspectos físicos del suelo, la absorción y circulación de nutrientes. Por ejemplo, el aporte de la hojarasca aumenta el contenido de materia orgánica y con esto su estructura y la capacidad de almacenar agua (Fassbender, 1993; Sadeghian *et al.*, 2000).

2. El indicador de huella hídrica.

La huella hídrica es un indicador del uso y apropiación del agua por parte de la humanidad, para suplir los requerimientos de una actividad productiva específica (Hoekstra *et al.*, 2009; 2011; Hoekstra y Förrare, 2008).

Visibiliza los vínculos entre el agotamiento del agua, la producción y el consumo de bienes y servicios. Este concepto se planteó como un mecanismo para abordar el manejo del agua a nivel global, que supera el análisis desde la perspectiva del abastecimiento, para ocuparse de los efectos del consumo y el comercio internacional sobre la dinámica del agua y su gobernanza (Hoekstra, 2009).

El concepto se sustenta originalmente sobre la definición de agua virtual¹¹ propuesto por Allan (1998), como la cantidad de agua dulce requerida para la producción de un bien o un servicio, haciendo alusión al volumen de agua incorporado directa o indirectamente en un proceso productivo (Allan, 1998; Zeitoun *et al.*, 2010). Dicho volumen de agua deja de estar disponible para otros usos o actividades en la cuenca de origen, siendo relevante y muy pertinente para regiones que padecen problemas de escasez de agua.

La huella hídrica hace referencia al volumen de agua dulce utilizada directa e indirectamente para producir un bien o un servicio bajo las condiciones del lugar de producción. El volumen de agua referido, corresponde a la suma del agua incorporada en cada una de las fases o etapas que integran el sistema de producción, así como etapas subsiguientes de comercialización, distribución y consumo, como se observa en la figura 2-1 (Hoekstra *et al.*, 2009; Thaler *et al.*, 2012).

¹¹ El agua virtual se utiliza en el contexto del comercio internacional y se refiere al volumen de agua incorporada en la elaboración del algún bien o servicio susceptible de comercializarse y que usualmente se consume en un lugar diferente al de producción (Allan, 1998; Merrett *et al.*, 2003).

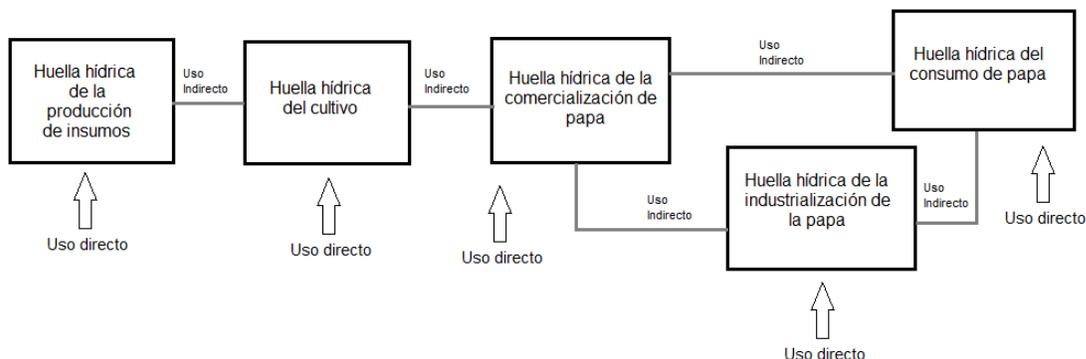


Figura 2-1. “Esquema de aplicabilidad de la huella hídrica”. Adaptado de Hoekstra *et al.* (2009, 2011).

La huella hídrica se puede estimar para un grupo definido de productores, consumidores o productos, en un área definida. Se puede calcular además para una actividad o proceso específico, producto o servicio; incluso puede ser aplicada a un cultivo, negocio u organización (Hoekstra *et al.*, 2011; Mekonnen y Hoekstra, 2011; Salmoral *et al.*, 2011).

Cuando el lugar de consumo del bien o servicio es diferente al de producción, se dice que su huella hídrica corresponde a su contenido de agua virtual. Cuando se hace referencia a la huella hídrica de un individuo o comunidad, se cuantifica el volumen total de agua dulce requerido para producir bienes y servicios consumidos por un individuo o una comunidad definida.

Se expresa en términos de unidades de volumen de agua incorporada por unidad de masa producida (m^3/t), unidades de volumen de agua incorporadas por unidad de tiempo ($m^3/año$) o en unidades de volumen de agua incorporadas por unidad de producto ($m^3/unidad$) (Hoekstra *et al.*, 2009, 2011).

2.1 Antecedentes.

El concepto inicialmente fue propuesto en foros de política sobre el consumo y manejo del agua, así como de la presión que ejerce la sociedad sobre las fuentes hídricas. Cuando Allan (1998) lo planteó, más que fundar una corriente científica, su interés era inducir a la reflexión a los tomadores de decisiones sobre la manera en que el consumo de un producto acarrea el agotamiento del agua en territorios diferentes al lugar de consumo (Zeitoun *et al.*, 2010).

Posteriormente Hoekstra (2009), en el marco de la reunión de expertos en Delft en 2002, presentó el concepto de huella hídrica como un mecanismo para evidenciar y visibilizar los vínculos entre el consumo y el agotamiento del agua. Posterior a su presentación, tanto el concepto como el método y su aplicabilidad, han sido abordados en las últimas cuatro versiones del Foro Mundial del Agua y en las reuniones de expertos sobre el Comercio de Agua Virtual¹².

En los últimos años, se han realizado estimaciones de huella hídrica a distintas escalas y el método se encuentra en construcción (Hoekstra *et al.*, 2011; Lovarelli *et al.*, 2016; Perry, 2014; Thaler *et al.*, 2012).

Para la producción agrícola mundial, se ha estimado la huella hídrica en términos de los productos que se tranzan en el comercio internacional, con base en estadísticas oficiales sobre producción y rendimientos (Hoekstra y Förrare, 2008).

Mekonnen y Hoekstra (2011) estimaron la huella hídrica de 146 cultivos a nivel mundial, utilizando un enfoque de alta resolución, tomando como referencia información secundaria sobre comercio internacional y bases de datos meteorológicos a nivel mundial.

¹² Las últimas versiones han tenido lugar en Japón en 2003, México en 2006, Estambul en 2009 Marsella en 2012 y Corea en 2015.

Por su parte Chapagain y Hoekstra (2004), calcularon la huella hídrica de algunos cultivos a nivel de nación, para lo cual estimaron la evapotranspiración en los cultivos priorizados por país, obteniendo resultados diferentes respecto a lo reportado por Mekonnen y Hoekstra en 2011. Por su parte Liu y Yang (2010) estimaron la huella hídrica a partir de cálculos de evapotranspiración para 20 cultivos a nivel mundial, mostrando diferencias respecto a lo reportado por otros autores para los mismos sistemas productivos. La diferencia está en los métodos empleados para estimar el consumo de agua de los cultivos (evapotranspiración), la escala del análisis y los datos utilizados.

Para el caso de Colombia se estimó la huella hídrica agrícola a partir de información secundaria y estadísticas oficiales. Allí se presenta la distribución porcentual de cada uno de los componentes de la huella hídrica para los 10 cultivos de mayor importancia en área en Colombia para el año 2008. Se reporta por ejemplo, que el cultivo de papa aporta un 3% del total de la huella hídrica por sector. En el análisis por componentes reportó una participación del 4% de la huella hídrica verde, un 3% de la huella hídrica azul y un 7% de la huella hídrica verde (Arévalo, 2012).

En el estudio nacional del agua publicado por el IDEAM (2014) se incluyó el análisis de huella hídrica para el sector agropecuario a partir de estadísticas oficiales del año 2012. Se estimó que la huella hídrica verde para el cultivo de papa a nivel nacional fue de 515,3 Hm³, ocupando el quinto lugar entre los cultivos transitorios con el mayor volumen reportado. Así mismo estableció que el cultivo de papa ocupa el segundo lugar para la huella hídrica azul con 111,70 Hm³. En cuanto a pastos de corte y forraje, se reportó una huella hídrica verde de 54,9 Mm³.

En la escala regional, se han realizado estimaciones para el sistema productivo de caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca (Pérez *et al.*, 2011), cuyo propósito fue visibilizar los efectos de la producción extensiva de caña de azúcar en las fuentes hídricas de la región. Se reportan también aportes metodológicos para estudios a nivel de cuenca diferenciando el uso del agua por sectores en la cuenca del Río Porce, donde se estimó la huella hídrica para cada uno, se analizó en el contexto de la cuenca respecto a la oferta hídrica y la competencia entre usos (Builes, 2013).

Adicionalmente, el Centro Internacional para la Agricultura Tropical (CIAT) adelantó un trabajo de cuantificación directa de la huella hídrica en lotes cultivados con papa, maíz y arroz, a la vez que se analizaron e hicieron recomendaciones (CIAT, 2015; Feijóo, 2014); en el caso particular de la papa, se comparó la huella hídrica entre agricultura de conservación y tradicional, siendo menor para las fincas que implementan el modelo de conservación.

Salmoral *et al.* (2011) estimaron la huella hídrica de la cuenca de Guadalquivir para un periodo de diez años, a partir de la estimación en los principales sistemas productivos así como de los productos importados y exportados, en términos de los consumos relativos de agua verde y azul, donde la sumatoria de estos consumos constituyó la huella hídrica de la cuenca. Específicamente para agricultura, estos autores asumieron la huella hídrica como el volumen de agua consumido en la producción de los cultivos.

Zhuoa *et al.* (2016) estimaron la huella hídrica de la agricultura en la cuenca del río Amarillo en China. Estimaron la huella hídrica inter e intra anual para los principales cultivos para un periodo de 50 años y la contrastaron con la oferta hídrica mensual de la cuenca de fuentes de agua azul. Adicionalmente compararon la huella hídrica estimada para los cultivos de la cuenca con la huella hídrica estimada para los sectores de industria y hogar, para lo que encontraron relaciones entre el incremento de los valores de huella hídrica con la intensificación de la agricultura y el aumento de las aplicaciones de fertilizantes en ese lugar.

Para los cultivos de papa y pastos se han realizado estimaciones de huella hídrica a nivel mundial y para algunos países. Algunos de los resultados reportados se presentan en la tabla 2-1.

Tabla 2-1. Valores de huella hídrica estimados para los cultivos de papa y pastos.

Análisis	Valor estimado para papa	Valor estimado para pasto	Fuente
Promedio mundial a partir de estadísticas oficiales y de comercio internacional.	287 m ³ /t Huella verde:191 m ³ /t Huella azul:33 m ³ /t Huella gris:63 m ³ /t Aporta 1% de la huella hídrica mundial	254 m ³ /t Huella verde:207 m ³ /t Huella azul:27 m ³ /t Huella gris:20 m ³ /t Aporta el 9% de la huella hídrica mundial	Mekonnen y Hoekstra (2011).
Agua virtual en papa consumida.	250 l/kg		Hoekstra y Förare (2008).
Promedio en la zona de producción de la provincia de Buenos Aires, Argentina.	323.9 m ³ /t Huella verde: 104.4 m ³ /t Huella azul:78.2 m ³ /t Huella gris: 141.2 m ³ /t	No aplica	Rodriguez <i>et al.</i> (2015) .
Estimación de la huella hídrica agrícola en Colombia.	Aporta 3% de la huella hídrica del sector Huella verde: 4 % Huella azul:3% Huella gris: 7%	No reporta	Arévalo (2012).
Estimación directa en fincas de la huella hídrica para el modelo de producción tradicional y de conservación en Sibaté y Ubaté.	Agricultura tradicional: 290 l/kg. Reporta una huella gris de 60 l/kg Agricultura de conservación: 210 l/kg. Reporta una huella gris de 33 l/kg		CIAT (2015).
Estimación de la huella hídrica de la producción de carne de cerdo en China, Brasil, Estados Unidos y Holanda entre 1996-2005. Huella hídrica para forrajes.	No aplica	203 m ³ /t Huella verde: 199 m ³ /t Huella azul: 1.8 m ³ /t Huella gris: 2 m ³ /t	Gerbens <i>et al.</i> (2013).

2.2 El método y su aplicación en la agricultura.

Existen diversos enfoques y métodos para la estimación del consumo del agua en la agricultura, los cuales varían de acuerdo con la escala de análisis (Hoekstra *et al.*, 2009; 2011; Hoekstra y Förrer, 2008; Mekonnen y Hoekstra, 2011; Salmoral *et al.*, 2011; Zhuo *et al.*, 2016).

Existen estudios a nivel de finca que cuantifican directamente el consumo de agua de riego (agua azul), analizando el volumen total de agua consumida respecto a la cantidad de biomasa producida en un periodo de tiempo definido (Zoebl, 2006). También se encuentra estudios para evaluar los efectos de la aplicación de diferentes volúmenes de agua en cultivos (Bernal *et al.*, 2013; Castro, 1990). Este tipo de análisis se enfoca en la productividad del agua y la eficiencia en el uso del agua de riego (Moore *et al.*, 2011).

El análisis de huella hídrica permite estimar el consumo de agua en los cultivos, discriminando el agua incorporada desde su origen, por lo que se estima a partir de tres componentes: huella hídrica azul (HH_{azul}), huella hídrica verde (HH_{verde}) y huella hídrica gris (HH_{gris}).

Para estimar la huella hídrica verde y azul, se requiere conocer el consumo de agua en un cultivo (CWU_{cultivo}), es decir, la cantidad de agua requerida para compensar la humedad pérdida por su evapotranspiración¹³. Los cultivos reciben agua a través del riego (agua azul), de las precipitaciones y la humedad acumulada en el suelo (agua verde).

Se asume que la diferencia entre la necesidad de agua del cultivo y la precipitación efectiva en la localidad donde este se ubica corresponde al volumen de agua que debe suministrarse mediante riego. Esto incluye además el agua requerida para el lavado de sales, el volumen requerido para llevar el suelo a capacidad de campo¹⁴ y para compensar

¹³ La Evapotranspiración se puede calcular utilizando datos meteorológicos. El método FAO Penman-Monteith se recomienda como el único método estándar para la definición y el cálculo de la evapotranspiración de referencia (Allen, 2006).

¹⁴ La capacidad de campo del suelo representa la cantidad de agua que este retiene en contra de las fuerzas gravitacionales, cuando el drenaje descendente es cercano a cero. Ante la ausencia del suministro de agua, el contenido de humedad en la zona radicular se reducirá como resultado de la extracción de las plantas (consumo o evapotranspiración). Si la extracción

la falta de uniformidad en la aplicación de agua. Por lo tanto es válido equiparar el consumo de agua de un cultivo con su evapotranspiración.

La evapotranspiración del cultivo corresponde a la sumatoria de la evaporación del suelo y la transpiración de la vegetación existente. Es fundamental en el balance hídrico de una cuenca y aunque no se pueden medir directamente, puede estimarse mediante modelos y relaciones empíricas que son alimentadas con información meteorológica, de suelos y de las coberturas.

En cuanto a las variables meteorológicas, toma información referente a la radiación solar, temperatura, humedad relativa y viento. En cuanto al suelo, incorpora atributos físicos relacionados con la textura, estructura, capacidad de almacenamiento de agua y profundidad efectiva. Respecto a las coberturas, vincula aspectos fenológicos y de uso consuntivo estimado para las especies de cultivo (OMM, 1994).

La evapotranspiración se puede asumir como la pérdida de humedad contenida en el suelo cuando está cubierto por vegetación, cuando este se encuentra saturado. La superficie del suelo se encuentra cubierta por vegetación y que de acuerdo con la especie vegetal, se incluya un factor que define la evapotranspiración potencial. Sin embargo el agotamiento de la humedad en el suelo y el déficit afecta la diferencia entre evapotranspiración potencial y real, pues la velocidad de agotamiento de la humedad en un suelo saturado, disminuye logarítmicamente debido a las variaciones de la profundidad radicular, densidad, pendiente del suelo y humedad atmosférica (Allen *et al.*, 2006a; OMM, 1994).

La huella hídrica azul hace referencia al agua superficial y subterránea extraída para cubrir las necesidades del cultivo que no pueden ser cubiertas con la lluvia. Hace referencia al agua de riego proveniente de fuentes hídricas superficiales y subterráneas. Con su incorporación en el proceso productivo es evaporada, de manera que no retorna a la

de humedad por parte de las raíces y la evaporación se mantienen, el agua remanente es retenida con más fuerza en el suelo, lo que hace cada vez difícil su extracción, generando en las plantas estrés hídrico. Esto quiere decir que el cultivo no puede extraer el agua existente en el suelo y habrá alcanzado el punto de marchitez permanente.

cuenca de origen y no está disponible para otros usos en ese lugar, por lo que se afirma que tiene un alto costo de oportunidad (Lovarelli *et al*, 2015).

La huella hídrica verde corresponde al agua proveniente de la precipitación y acumulada en el suelo. Hace referencia a la reducción en la disponibilidad de agua verde por reducción del volumen disponible debido a la apropiación que hace el hombre mediante una actividad.

La huella hídrica gris corresponde al volumen de agua contaminada que se asocia con la producción de un bien, una actividad o como el volumen de agua necesario para diluir un agente contaminante, que permita lograr niveles de calidad semejantes a los establecidos en la normatividad local (Hoekstra *et al*, 2011).

Posterior a la cuantificación de los tres componentes de la huella, Hoekstra *et al.* (2009; 2011) proponen un análisis de sostenibilidad, que consiste en comparar los valores obtenidos en el cálculo de la huella con la oferta hídrica del lugar y sus implicaciones en el agotamiento del agua disponible, la competencia respecto a otros usos y sus perspectivas en cuanto a la sostenibilidad ambiental de la actividad productiva en el territorio.

2.3 Limitaciones del método.

Existen cuestionamientos sobre el método y su estandarización, ya que la metodología se ha adoptado para cada caso de estudio en particular. Se considera que el indicador de huella hídrica aporta elementos metodológicos útiles para analizar el consumo de agua en una actividad productiva en el contexto de la dinámica del agua.

En todo caso, el alcance, la escala y las limitaciones del modelo deben ser definidos claramente, por lo que se dice que los resultados de huella hídrica para un mismo producto o proceso no son comparables (Perry, 2015, Lovarelli *et al.*, 2016).

Las fuentes de información utilizadas para el análisis y estimación de la huella hídrica pueden generar incertidumbre, pues muchos análisis en los que se ha trabajado sobre proyecciones, información secundaria y estimación directa a nivel de cultivo generan resultados diferentes para un mismo cultivo (Perry, 2015, Lovarelli *et al.*, 2016). Se generalizan las prácticas de cultivo a nivel regional, desconociendo que existen diferencias entre productores, dadas por la tenencia de la tierra, la disponibilidad de insumos, la pobreza, entre otros factores.

Los parámetros de calidad de agua requeridos para la estimación de la huella hídrica gris varían entre localidades y usos, ya que se toman como referencia los parámetros regulatorios locales. En el caso de la agricultura donde la mayoría de fuentes de contaminación son difusas, se considera que el método no contempla la dinámica de transporte, asimilación e infiltración del agua (Hansen, 2013).

El método asume una pérdida real de agua en volumen por cuenta del consumo en las actividades productivas objeto de análisis, sin embargo, no da cuenta del volumen de agua evaporado que eventualmente puede reintegrarse a la cuenca. Omite además otras variables que limitan el rendimiento de los cultivos y los efectos de la variabilidad climática.

Algunos autores plantean su utilidad en la estimación de los efectos causados por una actividad en la calidad y disponibilidad del agua, así como para evidenciar nuestra dependencia sobre el agua a nivel local, sectorial, regional y mundial, puesto que se sugiere como un instrumento para cuantificar la apropiación del capital natural por parte de la humanidad, haciendo hincapié en la relación existente entre el uso del agua, el comercio mundial y el manejo de los ecosistemas a nivel local (Perry, 2015).

Llaman la atención sobre la necesidad de revisar cómo dentro del análisis se contempla la escasez en el sitio de extracción y el contexto. Si bien en los manuales publicados por Hoekstra *et al.* (2009, 2011) se insiste en considerar el contexto del área de estudio, no hay mayor desarrollo sobre esto o herramientas que el investigador o interesado pueda aplicar a nivel local (Perry, 2015).

Cuando se habla del consumo de agua o uso consuntivo en actividades productivas, se hace referencia al agua utilizada en el proceso de producción que no regresa a la fuente¹⁵. En el caso de la agricultura, el uso consuntivo de un cultivo refiere la cantidad de agua evapotranspirada y utilizada por las plantas del cultivo para su mantenimiento, crecimiento y desarrollo (Allen *et al.*, 2006c; Fleiner *et al.*, 2013, Shaxson y Barber, 2006).

Existen diversos métodos para la estimación de la evapotranspiración, y el valor estimado puede variar de acuerdo con el método. Incluso se reportan diferencias entre los valores de evapotranspiración obtenidos con los modelos existentes y los resultados obtenidos mediante la medición directa en campo (Allen *et al.*, 2006c; PRONAR, 1992).

En la agricultura, la cuantificación de la huella hídrica se basa en el requerimiento hídrico de los cultivos, estimado a partir del cálculo de la evapotranspiración de los cultivos de interés y el balance de agua en el suelo para un periodo de tiempo definido.

La evapotranspiración de un cultivos (ET_c) es proporcional a la evapotranspiración del cultivo de referencia ET_o (pasto generalmente), ajustada con un factor de cultivo K_c que representa la variación de la evapotranspiración de cada cultivo con respecto al cultivo de referencia. Aunque la FAO ha publicado los valores de referencia para cultivos (Allen *et al.*, 2006c), este coeficiente debe ser validado en la localidad donde se pretende hacer la estimación (PRONAR, 1992). Las diferencias en la anatomía de las hojas, características de los estomas, las propiedades aerodinámicas, e incluso el albedo, ocasionan que la evapotranspiración del cultivo difiera de la evapotranspiración del cultivo de referencia aún bajo las mismas condiciones climáticas (Allen *et al.*, 2006a).

Teniendo en cuenta que la interrelación de un cultivo o comunidad de plantas con el agua inicia desde el momento en que recibe aportes mediante riego o lluvia, esta última se puede presentar en forma de precipitación directa u horizontal¹⁶ (Allen *et al.*, 2006a, 2006b; OMM,

¹⁵ En este análisis no se tendrá en cuenta la cantidad de agua que retorna a la cuenca debido a las limitaciones del método.

¹⁶ La precipitación horizontal es el proceso por el cual las gotas de agua presentes en las nubes o en la niebla son llevadas por el viento hacia la vegetación, se presentan particularmente en zonas alto andinas. Allí son acumuladas y precipitadas hacia la superficie de las hojas o son absorbidas. Este proceso es ocurre en los páramos, ecosistemas de coníferas, bosque de niebla y bosque húmedo tropical. En general se reporta que cuando las precipitaciones verticales se reducen, la precipitación horizontal aumenta. En el balance hídrico de zonas altas, donde la variación de temperatura máxima y mínima

1994; Prochnow *et al.*, 2012). En la estimación de la huella hídrica se incluye la precipitación efectiva estimada, por lo que pueden subvalorarse los aportes de agua horizontal.

Una fracción de la lluvia es interceptada temporalmente en la superficie de las hojas, siendo susceptible a la evaporación o escurrimiento hacia la superficie del suelo¹⁷. Dicha interceptación se da en función de la altura de la cobertura vegetal y la densidad de siembra (Czarnowski y Olszewski (1968) citados por León y Suárez (1998) p.22). El crecimiento y desarrollo del cultivo, estará condicionado por prácticas de manejo específicas de la localidad objeto de análisis, por lo tanto los resultados no son necesariamente comparables.

es significativa, es importante considerar además el rocío. El modelo de estimación de la huella hídrica no incorpora este tipo de variables, por lo que en la metodología se hará alusión a una estimación (Díaz *et al.*, 2005; Buytaert *et al.*, 2006).

¹⁷ El agua que se infiltra hacia el suelo se denomina agua superficial, es susceptible de ser evaporada, absorbida por las raíces y eliminada mediante la transpiración de las plantas. También puede ser filtrada hacia los depósitos de agua subterránea.

3.La Microcuenca Alto Río Ubaté (MARU).

La microcuenca Alto Río Ubaté MARU se ubica en el departamento de Cundinamarca, intersectando parte de los municipios de Carmen de Carupa y Ubaté (72 y 25 % del área respectivamente).

De acuerdo con la zonificación y codificación de cuencas hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia, es una microcuenca que pertenece a la unidad hidrográfica de la laguna de Fúquene y tiene un área aproximada de 22.000 ha (IDEAM, 2013, CAR y Ambiotec, 2006), siendo su principal afluente la parte alta del río Ubaté.

El territorio es variable en cuanto a su topografía la cual varía entre plano y fuertemente ondulado. La MARU se ubica en un rango altitudinal desde 2.500 hasta 3.750 m.s.n.m, su topografía es montañosa, con algunas terrazas y cerros elongados cuyas pendientes¹⁸ superan los 30° (CAR y Ambiotec, 2006). Presenta una zona de piedemonte y planicie aluvial, como se observa en la figura 3-1.

En cuanto a la geología del lugar, predominan las rocas sedimentarias y la influencia de varias formaciones geológicas, las cuales se describen en la tabla 3-1. Estas formaciones han dado lugar a suelos cuya fertilidad es catalogada como media a baja, con buen drenaje y baja capacidad de retención de agua (CAR y JICA, 2000)

¹⁸ Con evidencias de procesos de remoción en masa.

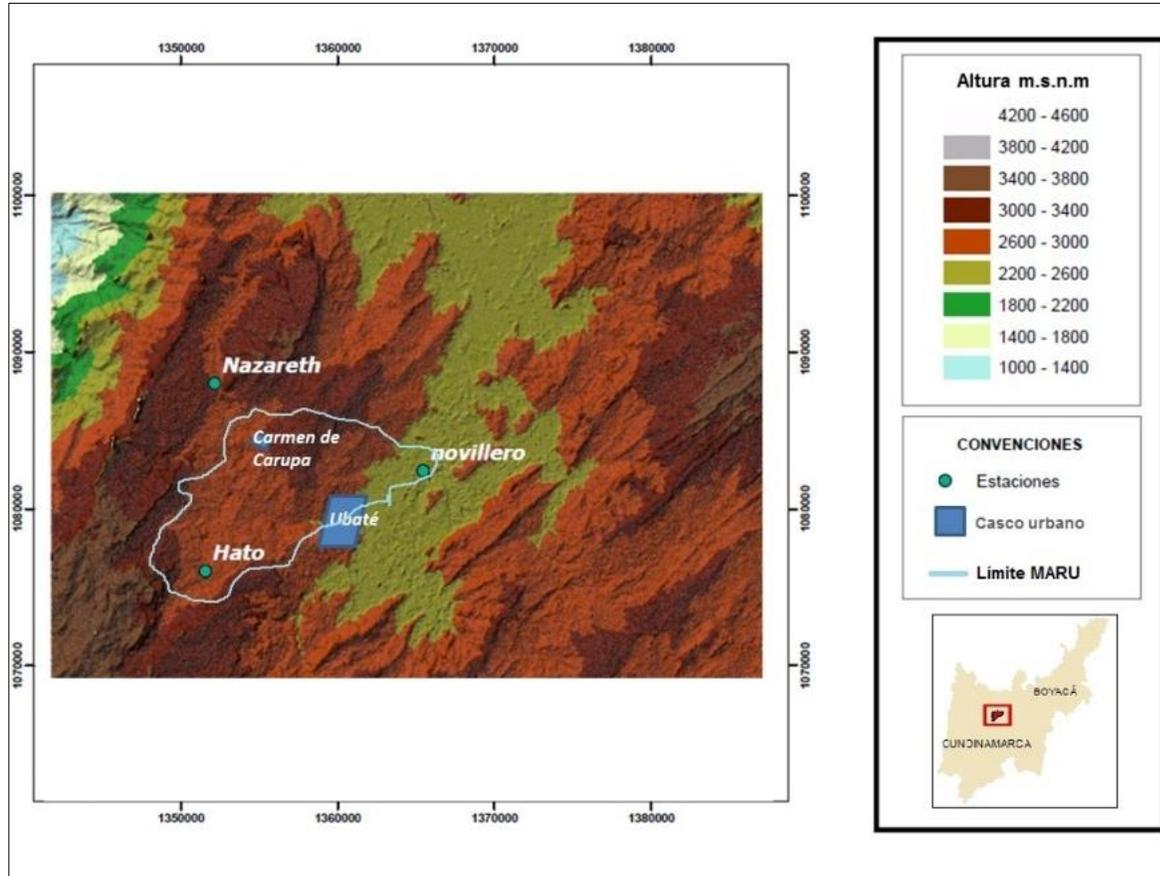


Figura 3-1. "Modelo de elevación digital de la MARU".

Tabla 3-1. Formaciones geológicas existentes y distribución en la MARU. Adaptado de CAR y JICA (2000).

Formación	Características	%
Chiquinquirá	Capas de areniscas de grano fino y lutitas negras. suelos superficiales con buen drenaje, baja fertilidad, reacción ácida y texturas finas a medias. Dan lugar a suelos propensos a la erosión.	20,8
Guadalupe	Areniscas duras a friables, de grano medio a grueso.	26,8
La Frontera	Compuesta por limonitas negras o grises con capas de horsteno, lodolitas y arcillolitas negras que dan lugar a pendientes suaves y suelos bien drenados.	4,3
Conejo	Compuesta por lodolitas negras y grises con intercalaciones de limonitas micáceas y areniscas. Los suelos son superficiales, bien drenados y ligeramente ácidos con retención pobre de humedad.	27,1
Simijaca	Compuesta por lutitas y limonitas con capas delgadas de areniscas. Esta formación genera una morfología, de pendientes suaves con una retención pobre de humedad y ligeramente ácida.	5,7
Guaduas	Compuesta por roca plástica y arcillosa de baja porosidad y permeabilidad.	2,5
Aluvión	Compuesta por arcilla limosa lacustre y fluvial; depósitos glaciales y terraza de material no consolidada.	12,8

Un 40% del suelo de la microcuenca sufre procesos de erosión severa y un 25% de erosión moderada, principalmente en sectores con escasa cobertura vegetal y con afloramientos rocosos. Se reportan procesos de erosión por escurrimiento superficial y por movimiento en masa con la posibilidad de arrastre masivo de sedimentos aguas abajo (CAR y JICA, 2000).

La erosión ha sido influenciada por la inadecuada explotación agropecuaria y minera, este proceso ha sido favorecido por las condiciones naturales de la cuenca. Es así como en 1982 la CAR inició la implementación del proyecto Checua-PROCAS, pues la acumulación de sedimentos había afectado los canales de irrigación del Río Bogotá y el abastecimiento de agua para la ciudad de Bogotá.

Los trabajos se concentraron en la recuperación de 17.000 ha de suelo erosionado, mediante la disminución de la velocidad del agua, el aumento de la capacidad de retención, el establecimiento de vegetación protectora permanente y mejoramiento de las prácticas de cultivo, para lo cual se vinculó la población campesina. En 1989 las acciones se ampliaron a las cuencas de los ríos Suta, Ubaté y laguna de Cucunubá, cubriendo un área total de 125.000 ha en 2004 (CAR y JICA, 2000; Zamudio y León, 2008). Hoy se mantienen algunas acciones del proyecto.

Los suelos en general son poco profundos y su fertilidad varía de media a baja, siendo el déficit hídrico una de las grandes limitaciones para la producción agrícola. Son susceptibles a la erosión debido a las condiciones de inclinación, material parental y prácticas de manejo. En la figura 3-2 se presenta la distribución de los grupos de suelos existentes en la MARU, grupos que son descritos en la tabla 3-2.

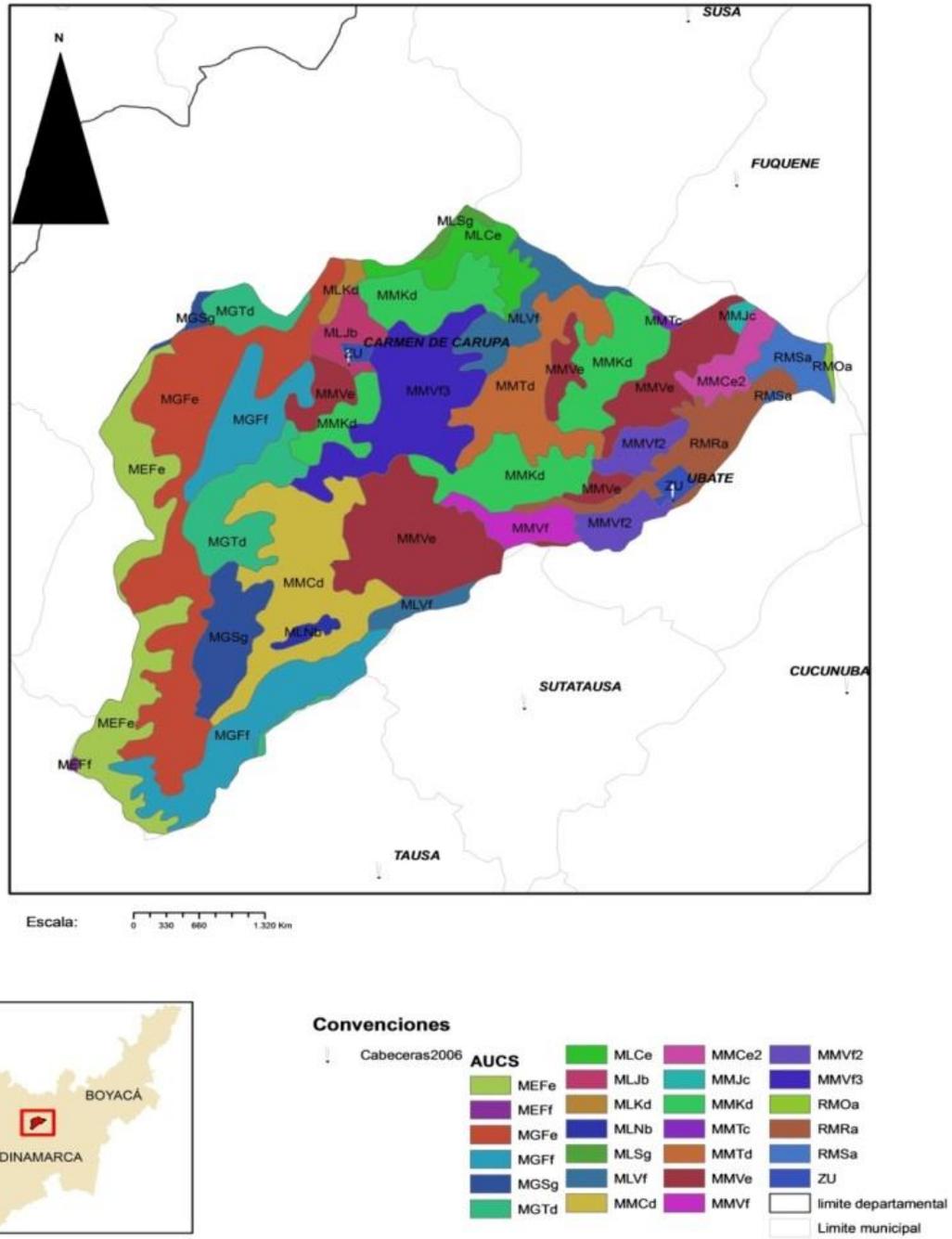


Figura 3-2. “Mapa de la distribución de grupos de suelos en la MARU” (IGAC, 2000).

Tabla 3-2. Descripción general de los grupos de suelos existentes en la MARU (IGAC, 2000).

Grupo de suelos	Limitantes primarias	Limitantes secundarias	Uso potencial	Recomendaciones de manejo
MEFe MEFf	Relieve fuertemente quebrado y escarpado, con pendientes superiores al 25%.	Suelos moderadamente profundos a muy superficiales, bien drenados con texturas finas a gruesas. Reacción extremadamente ácida con alta saturación de aluminio.	Conservación de flora y fauna. Conservación de vegetación nativa.	Prohibir el desarrollo de actividades agropecuarias.
MGTd	Relieve moderada a fuertemente inclinado, con pendientes del 7-25%. Algunos sectores presentan erosión hídrica.	Suelos profundos a superficiales, bien drenados, con texturas finas a gruesas. Baja fertilidad y profundidad efectiva.	Agricultura semi comercial y de subsistencia. Ganadería extensiva y semi intensiva.	Aplicación de fertilizantes y enmiendas. Siembra de especies vegetales con raíces superficiales. Evitar sobre pastoreo. Implementar sistema de riego.
MLJb	Pendientes del 7-12%.	Pedregosidad superficial. Suelos con reacción moderadamente ácida.	Agricultura semi comercial. Ganadería semi intensiva.	Rotación de cultivos con pastoreo controlado. Aplicación de fertilizantes y enmiendas.
MGSg	Relieve con pendientes superiores al 75%.	Suelos superficiales a profundos, bien drenados. Con texturas medias a moderadamente gruesas, reacción fuertemente ácida, alta saturación de aluminio y baja fertilidad.	Conservación de flora y fauna silvestre. Protección de fuentes hídricas.	Mantener vegetación natural. Evitar la tala y la quema.
MLCe	Pendientes del 12-50%. Algunos sectores son afectados por erosión hídrica.	Suelos profundos a superficiales, bien drenados, con texturas finas y gruesas, reacción extremada ácida. Baja fertilidad.	Agricultura semi intensiva semi comercial con cultivos transitorios.	Aplicación de fertilizantes. Establecimiento de sistemas silvopastoriles, evitando el sobrepastoreo.
MMVe	Pendientes del 50 - 75%. Erosión moderada a severa.	Suelos con poca profundidad efectiva. Deficientes precipitaciones en uno de los semestres del año.	Reforestación, protección y conservación de la vida silvestre.	Implementar programas de reforestación, evitar actividades talas y quemas. Establecer especies nativas.
MMTd	Pendientes del 7-25%, afectado por erosión hídrica moderada sectorizada	Suelos moderadamente profundos a superficiales, bien drenados, de texturas finas a medias, reacción ligeramente ácida a neutra, baja fertilidad.	Agricultura de subsistencia con cultivos transitorios y ganadería extensiva.	Aplicación de fertilizantes. Implementación de riego. Evitar sobrepastoreo.
MLVf	Pendientes del 12 - 75%. Algunas zonas son afectadas por erosión hídrica.	Suelos profundos a superficiales, bien a moderadamente bien drenados, de texturas finas a moderadamente gruesa.	Bosque de protección y producción.	Evitar talas y quemas.

Continúa tabla 3 2. Descripción general de los grupos de suelos existentes en la MARU (IGAC, 2000).

Grupo de suelos	Limitantes primarias	Limitantes secundarias	Uso potencial	Recomendaciones de manejo
MGFf MGFe MMCe2	Pendientes del 25 - 50%.	Poca profundidad efectiva de los suelos.	Reforestación con especies nativas y protección de la vegetación actual.	Evitar actividades agropecuarias que afecten el ecosistema de páramo bajo.
MMVf MMVf2 MMVf3	Pendientes del 50 - 75% y erosión en grado moderado a severo.	Deficientes precipitaciones en uno de los semestres del año.	Reforestación y protección de la vida silvestre.	Diseñar e implementar programas de recuperación de suelos degradados, evitar actividades agropecuarias. Reforestar con especies nativa.
MLKd	Pendientes inclinadas del 12-25%.	Fertilidad moderada de los suelos. En sectores se presentan fenómenos de remoción en masa.	Agricultura semi-intensiva y extensiva y agricultura de subsistencia con cultivos transitorios.	Aplicación de fertilizantes, implementación de sistemas de potreros arbolados, siembras en contorno, evitar el sobrepastoreo.
MMJc	Pendientes del 7-12%.	Fertilidad baja, poca profundidad efectiva deficientes precipitaciones durante los dos semestres del año.	Agricultura de orientación semi-comercial y subsistencia y ganadería extensiva y semi-intensiva para producción de carne.	Aplicación de fertilizantes y enmiendas siembra de especies vegetales de raíces superficiales, evitar el sobrepastoreo, implementar sistemas suplementarios de riego.
MMTc	Pendientes del 7- 12%.	Fertilidad baja. Poca profundidad efectiva, deficientes precipitaciones durante los dos semestres.	Agricultura semicomercial.	Aplicación de fertilizantes y riego, evitar el sobre pastoreo. Siembra de especies vegetales con raíces superficiales.
MMKd MMCd	Pendientes del 12-25%.	Baja fertilidad y poca profundidad efectiva. Déficit hídrico durante los dos semestres del año.	Agricultura de subsistencia con cultivos transitorios y ganadería extensiva.	Aplicar fertilizantes. Aplicar riego por aspersión, evitar sobre pastoreo.
MLNb	Pendiente del 7-12%.	Pedregosidad superficial, suelo moderadamente ácido.	Agricultura semi intensiva.	Rotación de cultivos, pastoreo controlado. Aplicación de fertilizante y enmienda. Mecanización adecuada.
RMRa	Heladas frecuentes. Relieve con pendientes del 1-7%.	Suelos profundos a superficiales, drenaje deficiente, texturas finas a gruesas. Fertilidad media. Deficientes precipitaciones durante el año.	Agricultura intensiva de orientación comercial. Ganadería intensiva con pasturas mejoradas.	Rotación de cultivos. Aplicación de enmiendas y fertilizantes. Prácticas controladas de mecanización.

Se observan zonas cuyo uso debe ser la conservación y por ningún motivo se debe permitir la agricultura y la ganadería (zona de páramo amparada por el reconocimiento como

reserva). Se observa que buena parte de los suelos son aptos para agricultura de subsistencia semi intensiva, ganadería extensiva evitando el sobre pastoreo. Las limitaciones tiene que ver con el déficit hídrico a lo largo del año, la baja fertilidad y eventualmente la baja profundidad efectiva.

A pesar de las limitaciones, la agricultura y ganadería de leche son las actividades productivas más importantes. El suelo destinado a la agricultura predomina sobre otros usos, debido a la búsqueda de suelo productivo para la siembra de papa y a que se han destruido los bosques nativos especialmente en las zonas altas (CAR y JICA, 2000; CAR y Ambiotec, 2006; Delgado y Páramo, 2002; IGAC, 2000). Las prácticas de manejo del suelo han dado lugar a coberturas de porte bajo (pastos fundamentalmente) y suelos degradados susceptibles a la erosión (tabla 3-3).

Tabla 3-3. Uso del suelo en la MARU. (CAR Ambiotec, 2006, CAR y JICA, 2000).

Uso	Porcentaje %	Área ha
Bosque Primario Secundario	5,4	1.188
Matorrales	9,1	2.002
Pastos en terreno plano	5,5	1.210
Pastos en laderas	20,3	4.466
Rotación agrícola	58,9	12.958 ¹⁹
Cuerpos de agua	0,3	66
Casco urbano	0,5	110

La cobertura vegetal de su parte alta, que cobija la franja de sub páramo, corresponde a la formación de bosque húmedo montano (bh-M). Hacia la franja media de la cuenca (2.550 – 2.800 m.s.n.m.), se establece la asociación de bosque seco montano bajo. En esta franja la pendiente y el deterioro de los suelos, influye en el perfil de coberturas de altura media (5 a 8 m) a baja (1,5 a 4 m).

¹⁹ Se reportan cerca de 200 ha en plantaciones comerciales de eucalipto (*Eucalipto globulus*), ciprés (*Cupressus* sp.), pino (*Pinus* spp.) y acacias (*Acacia* spp.) (ICA, 2015).

La deforestación y el uso excesivo de la tierra en cultivo han agudizado los procesos de erosión en la MARU. De igual manera el vertimiento de agentes contaminantes provenientes de fuentes puntuales (vivienda, industria) y difusas (ganadería, agricultura) ha afectado la calidad de las aguas (CAR y JICA, 2000; CAR y Ambiotec, 2006).

El río Ubaté es la principal fuente superficial de abastecimiento, entre sus principales afluentes las quebradas Suchinica, La Playa, El Molino y El Cantero. Además se encuentra el embalse El Hato, que cubre cerca de 80 ha y se alimenta de las quebradas El Molino y El Hato. El perímetro de la cuenca es de 78,54 km, una longitud de 22,28 km y ancho de 12,29 km. En virtud de su forma alargada ovalada se estima que la microcuenca es poco vulnerable ante una eventual creciente (figura 3-3).

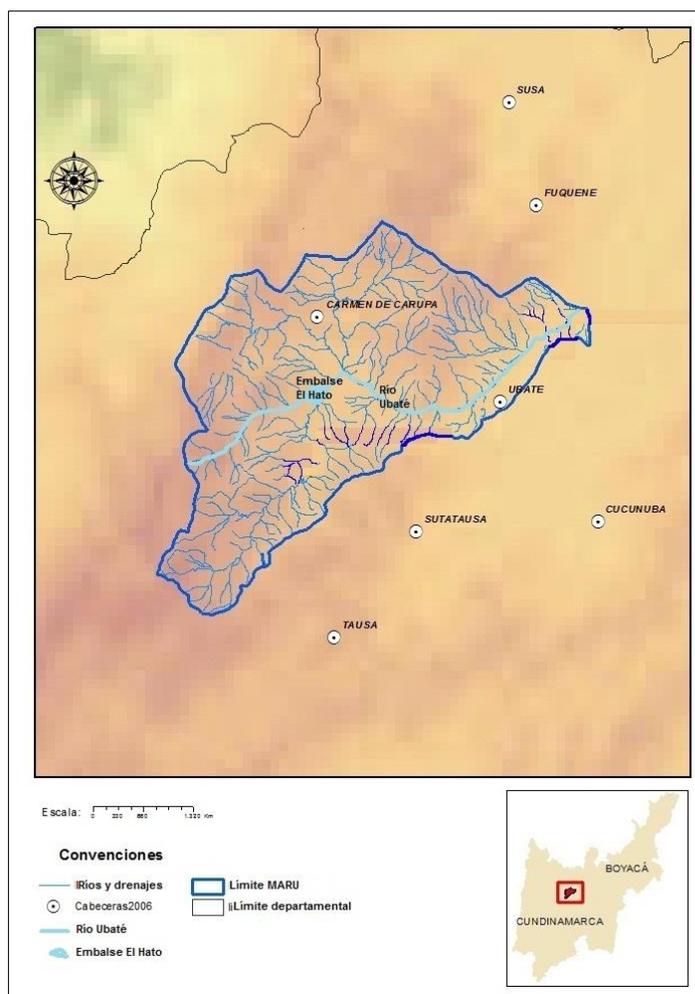


Figura 3-3. "Drenajes superficiales en la MARU".

Las condiciones y características hidráulicas de los acuíferos en el área se desconocen²⁰, ya que no se cuenta con la información de estudios hidrogeológicos detallados (Alcaldía Municipal de Carmen de Carupa, 2009; CAR y Ambiotec, 2006; Pinto, 2014; 2015), aunque existen reportes que indican la influencia del acuífero Ubaté - Chiquinquirá, perteneciente a la provincia hidrogeológica de la cordillera oriental, compuesto por acuíferos semiconfinados a confinados (IDEAM, 2014).

El riego en cultivos es incipiente, se puede decir que padece déficit hídrico debido no solamente a la falta de recurso hídrico, sino a la carencia de medios para irrigación²¹, por tanto dependen completamente de las lluvias.

Se reporta que la precipitación media multianual promedio de 785.2 mm y una precipitación efectiva cercana a los 238 mm/año. En la figura 3-4 se presenta una gráfica de la precipitación media mensual estimada para la MARU.

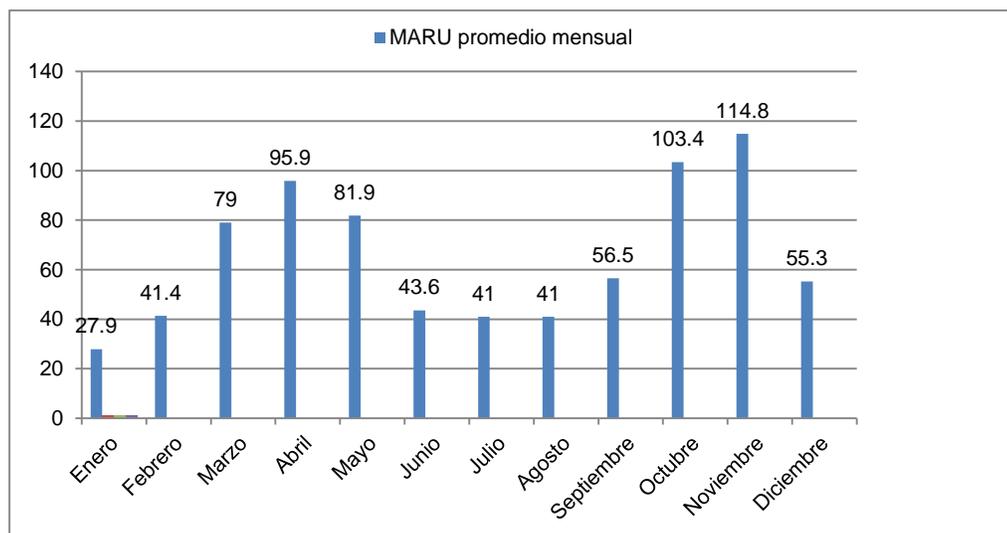


Figura 3-4. "Precipitación media mensual en la MARU" (CAR y Ambiotec, 2006).

²⁰ Se reportan 120 concesiones de agua SUBTERRÁNEA en la MARU (CAR, 2016).

²¹ De hecho el embalse el Hato fue construido con la finalidad de regular la descarga hídrica en la zona, pero también de suplir las necesidades de riego, sin embargo estas adecuaciones no se han ejecutado, por lo tanto no está plenamente usado debido a la carencia de estructuras de irrigación en las áreas aguas abajo de este. La completa operación del Embalse del Hato y la construcción adicional de estructuras de irrigación en los sitios adecuados, maximizaría el agua superficial disponible y mitigaría el déficit hídrico (CAR y JICA, 2000; CAR y Ambiotec, 2006).

La microcuenca presenta un régimen de precipitación bimodal. De acuerdo con las tendencias observadas entre 1.970 y 2.001, los periodos de lluvia transcurren entre los meses de abril a junio y entre octubre y noviembre. En promedio el rango de humedad relativa en el territorio oscila entre el 69% y el 77%, la temperatura promedio es de 14°C (CAR y Ambiotec, 2006).

En cuanto al balance hídrico estimado a partir de datos meteorológico para 30 años, la tendencia es que en los periodos comprendidos entre marzo y mayo, así como entre septiembre y diciembre la precipitación supera la evaporación. Para los meses restantes se presenta déficit, siendo más agudo en el mes de enero, con una diferencia cercana a los 30 mm. Bajo estas condiciones, es normal esperar que los cultivos en la MARU, estén sometidos a condiciones de estrés hídrico. El caudal ecológico²² reportado en la cuenca es de 0,00767 m³ (CAR y Ambiotec, 2006).

De acuerdo con la clasificación Caldas Lang, en general presenta un clima frío semiárido. En consideración al relieve se puede decir que existen tres climas en la MARU: páramo árido, páramo semiárido, frío húmedo y frío semiárido. La temperatura promedio anual en las áreas bajas es de 12°C a 13°C, mientras en las partes altas oscila entre 9°C a 13°C (CAR y Ambiotec, 2006).

Parte del territorio de la MARU intersecta el Páramo de Guerrero, cuya superficie ha sido alterada por actividades de agricultura y minería en más de un 70 %. Este proceso se ha acentuado y acelerado en los últimos 60 años por la intensificación de la agricultura bajo el modelo de revolución verde, la potrerización y la extracción de carbón y de materiales para construcción (Hofstede *et al*; 2015).

En la MARU predomina el área rural (95%), allí se desarrollan actividades productivas que requieren del agua, como la industria del procesamiento de leche²³, la minería, los

²² Hace referencia al caudal requerido por los ecosistemas existentes en la microcuenca, se estima a partir de las series históricas del caudal de la fuente de interés, la dinámica del ecosistema fluvial, la supervivencia y desarrollo y es estimado por la Corporación Autónoma regional competente). de especies existentes en el área.

²³ La industria lechera se ubica en el área del municipio de Ubaté.

asentamientos urbanos y la agricultura, siendo esta última la más importante²⁴ (Alcaldía Municipal de Carmen de Carupa, 2009; Delgado y Páramo, 2002; Gobernación de Cundinamarca, 2010a, 2010b, 2014; Rodríguez *et al.*, 2015).

El territorio de la MARU solía destacarse en la producción de papa a nivel de departamental pues cerca del 80% de la papa que se cultiva en la provincia de Ubaté provenía del municipio de Carmen de Carupa (DANE, 2002), lo cual ha cambiado, encontrándose que para el periodo analizado existe una tendencia hacia la reducción del área sembrada. De igual manera se reportan cerca de 20.000 cabezas de ganado para la producción de leche para el año 2012 (Gobernación de Cundinamarca, 2013).

En cuanto a la minería, se reportan tres licencias para la extracción de materiales de construcción (CAR, 2016, Pinto 2015).

El mantenimiento de las actividades productivas depende de la disponibilidad de agua en calidad y en cantidad, a la vez que pueden interferir en los flujos debido al consumo, en la figura 3-4 se presenta un esquema aproximado de la dinámica del agua y los sistemas productivos que existen en la MARU.

²⁴ En la MARU, la agricultura es una actividad cuya tradición viene desde mediados del siglo XX. La intensificación del cultivo de la papa trajo consigo la llegada de grandes productores que rentaban lotes en la región, cultivando permanentemente “de forma que mientras se siembra por un lado, se desyerba en otro, se fumiga aquí y se cosecha allá”. Además, la papa se convirtió en la principal fuente de empleo rural en la región, pues un ciclo de papa demanda cerca de 120 días/hombre por ha cultivada (Delgado y Páramo, 2002 p. 13). Es tan importante el cultivo de la papa, que en el municipio de Carmen de Carupa aún se desarrolla el Festival y Reinado Turístico de la papa, que en el 2015 celebró su versión número XVII (Carmen de Carupa, 2015). Después del año 2006 (aproximadamente), los costos de producción asociados al paquete tecnológico utilizado, la inestabilidad en los precios de venta y la escasez de agua ha desmotivado la siembra por parte de los propietarios de las fincas. En las partes más frías con vientos más fuertes, los campesinos prefieren dedicarse a la ganadería (Delgado y Páramo, 2002; Fedepapa, 2010; Pinilla, 2015).

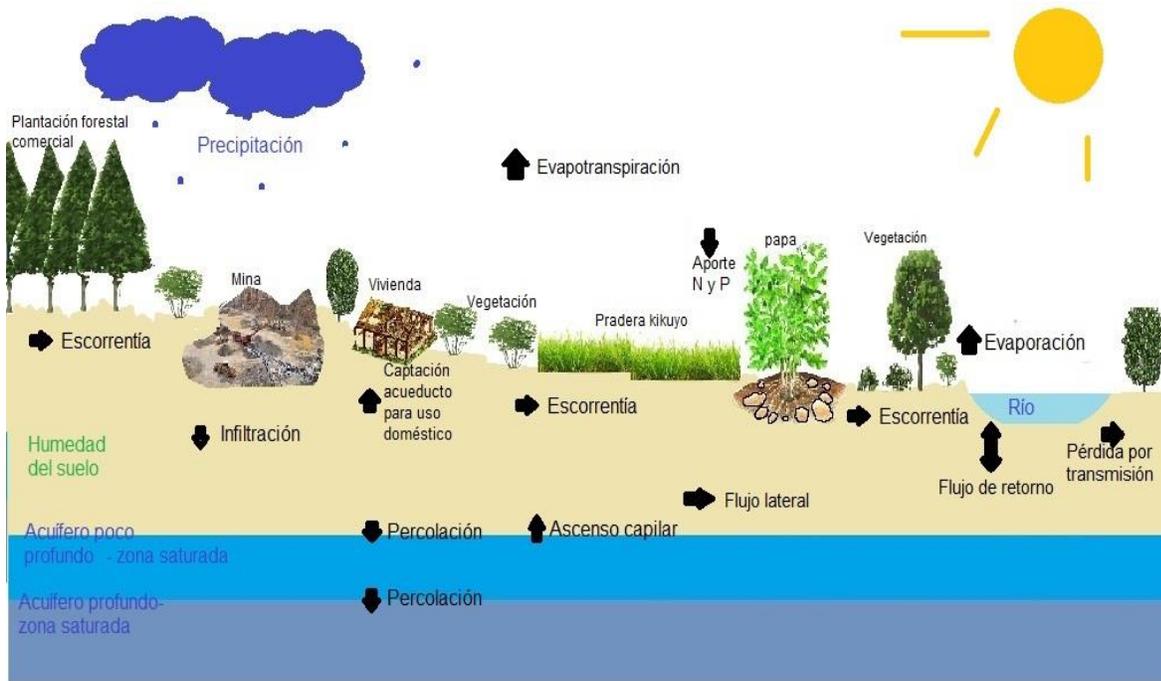


Figura 3-5. "Esquema de la dinámica del agua e relación con las actividades productivas reportadas en la MARU".

Son varios los sectores productivos que demandan agua en la MARU, para efectos de ilustrar esta situación se recopiló información de las concesiones vigentes actualmente para extracción y uso de agua provenientes de fuentes de agua superficial y subterránea.

El consumo agrícola reporta el menor porcentaje de participación, debido a que no se reportan concesiones para riego. Para el año 2006, la CAR reportó que el índice de escasez para la MARU era del 8%, por lo que indica que no se experimentan presiones importantes sobre el recurso hídrico, pues estimó que la demanda era de 9.761 m³/día y la oferta disponible de agua de 1.509 m³/seg, sugiriendo que los acuíferos y las fuentes de agua pueden ser explotados. La tendencia se mantiene según lo reportado por Pinto (2014, 2015).

En la tabla 3-4, se presenta un resumen sobre la demanda de agua por sector en la MARU estimado a partir del volumen concesionado a 2006.

Tabla 3-4. Consumo de agua estimado a partir de concesiones de agua azul para los sectores productivos de la MARU (CAR y Ambiotec, 2006, CAR y JICA, 2000, IDEAM, 2014, Pinto, 2014).

Sector	Unidad de consumo diario	Demanda m ³ /día	Participación %
Consumo humano urbano	0,12 m ³ /habitante	4.199,6	43,02
Consumo humano rural	0,15 m ³ /habitante	3.344,1	34,25
Consumo agrícola	0,008 m ³ /ha	19,74	0,20
Consumo pecuario	0,025 m ³ /cabeza de ganado bovino	480,3	4,92
Consumo industrial	No reporta	972	9,95
Consumo Institucional	0,1% del consumo doméstico	745,37	7,63
Total		9.761,1	100

Aunque el consumo agrícola reporta el menor porcentaje, los procesos de transformación e intervención de los ecosistemas en la MARU se adjudican a la agricultura y la producción pecuaria. Es interesante observar que las tendencias mencionadas anteriormente coinciden con las estadísticas de área sembrada para los años 2009 y 2011²⁵, que indican una reducción en el área sembrada en papa y un aumento del área de pastos (tabla 3-5) (Díaz *et al.*, 2005; Hofstede *et al.*, 2003, 2015, CAR y Ambiotec, 2006; IGAC, 2000).

Tabla 3-5. Área sembrada en papa y pastos en la MARU para el periodo 2009-2011 (Gobernación de Cundinamarca, 2010a, 2014).

Variable	Área sembrada papa		Área sembrada pastos	
	2009	2011	2009	2011
área ha	2.256	2.080	8.625	13.893

La papa y la leche son las principales fuentes de ingreso en la MARU. Esto puede relacionarse con el hecho que un 90% de la población que habita la microcuenca vive principalmente en la zona rural. En la tabla 3-6 se presenta un resumen descriptivo de la población que habita en la MARU.

²⁵ Solo se logró obtener estadísticas para estos dos años, por tanto, las que se consideraron en la presente investigación.

Tabla 3-6. División política, distribución de la población y servicios públicos en la MARU (Gobernación de Cundinamarca, 2010a, 2014; CAR y Ambiotec, 2006).

Municipio	Urbano	Rural	Total población	Veredas	Servicios públicos existentes ²⁶
Carmen de Carupa	1.200	5.782	6.982	Salinas, Tudela, La Esperanza, Alto de Mesa, El Salitre, Cháquirá, Hático y Eneas, Llano Grande, Casablanca, Corralejas, Inspección de Policía de Sucre, Chegua, Mortiño, Centro Papayo, La Playa, La Huerta, Apartadero, El Hato, San Agustín, San José.	Energía eléctrica. Acueducto urbano. Alcantarillado urbano. Acueductos veredales
Ubaté	289	7.601	7.890	Apartadero, Sucunchoque, Volcán, Centro del Llano.	Centros educativos urbanos y rurales.
Total ²⁷	1.489	13.383	14.872	25 veredas	Un hospital de primer nivel.

El nivel de escolaridad en la región es bajo, sobre todo entre los hombres. Las niñas van al colegio porque no sirven como jornaleros, en cambio los niños aprenden el oficio de la papa desde muy pequeños, por eso son pocos los que asisten a la escuela (Delgado y Páramo, 2002). El transporte de servicio público inter veredal es limitado, por lo que los habitantes deben movilizarse por su cuenta.

La tendencia observada por Delgado y Páramo en 2002, en cuanto al fenómeno de ausencia de jóvenes en Carmen de Carupa, se mantiene, pues las fincas no generan los ingresos necesarios para el sustento. Indican además que para los habitantes de la región es mejor arrendar los lotes de sus fincas y dedicarse a otras actividades.

En cuanto a la propiedad de la tierra rural y el área de las fincas en la zona rural, se observa el predominio de la pequeña propiedad (tabla 3-7). De acuerdo con la ley 160 de 1994, la Unidad Agrícola Familiar (UAF) es *“la empresa básica de producción agrícola, pecuaria, acuícola o forestal cuya extensión, conforme a las condiciones agroecológicas de la zona*

²⁶ El acueducto y alcantarillado cubre solo el 70 % del área urbana. En zona rural las aguas servidas de lavadero y cocina son vertidas en zanjas que salen a los potreros, las aguas servidas del baño son vertidas en pozos sépticos. Ubaté capta agua para el acueducto del Río Ubaté, sector el guacal (cerca de 30 L/seg), Carmen de Carupa capta el agua del Río La Playa, específicamente en la quebrada el mortiño (capta 5 L/s). Las aguas servidas del alcantarillado de Ubaté son vertidas en el Río Bogotá (cerca de 18 L/seg), mientras que las aguas servidas de Carmen de Carupa son vertidas en la Quebrada Suchinica (cerca de 1,2 L/seg). Por tanto, no se hace tratamiento de aguas residuales. Ubaté cuenta con una planta de tratamiento de aguas residuales, sin embargo aún no está en funcionamiento. Los residuos sólidos son llevados al relleno sanitario de Doña Juana y a un relleno ubicado en el sector de Novillero (CAR y Ambiotec, 2006).

²⁷ Se reporta una densidad poblacional cercana a los 67 habitantes/km².

y con tecnología adecuada, permite a la familia remunerar su trabajo y disponer de un excedente capitalizable que coadyuve a la formación de su patrimonio. Para ser explotada requiere del trabajo del propietario y su familia, sin perjuicio del empleo de mano de obra extraña, si la naturaleza de la explotación así lo requiere”.

Se encuentra que la extensión de la UAF para los suelos ondulados a quebrados en la MARU es de 12 a 16 ha, mientras que para los suelos de la parte plana, el rango es de 2 a 3 ha (INCORA, 1996). Al revisar mapas catastrales de algunas veredas se encuentran unos cuantos predios cuya área supera las 50 ha (IGAC, 2009, 2010).

Sobre este particular es importante mencionar la dinámica de arrendamiento de las tierras en la MARU, especialmente para el cultivo de papa, donde un solo arrendatario alquila varios lotes y emplea personal de la región. En la tabla 3-7 se presenta un resumen sobre la propiedad de la tierra en los municipios de Carmen de Carupa y Ubaté.

Tabla 3-7. Propiedad en los municipios de Carmen de Carupa y Ubaté (Gobernación de Cundinamarca, 2010b).

Municipio	Zona urbana				Zona rural			
	No predios	No propietarios	Superficie ha	ha construidas	No predios	No propietarios	Superficie ha	ha construidas
C.de Carupa	721	1.058	37	6,7	6.783	9.808	30.638	178
Ubaté ²⁸	7.277	10.796	296	848	6.913	10.746	9.718	364

Lo observado en la MARU es coherente con lo reportado para el país en cuanto a la tenencia de la tierra, caracterizada por una elevada concentración de la tierra.

²⁸ Se toma el reporte para la totalidad de los municipios de Carmen de Carupa y Ubaté como referencia.

4. Metodología y análisis de resultados.

Para el cumplimiento de los objetivos propuestos en la investigación, se definieron las actividades presentadas en el esquema de la figura 4-1.

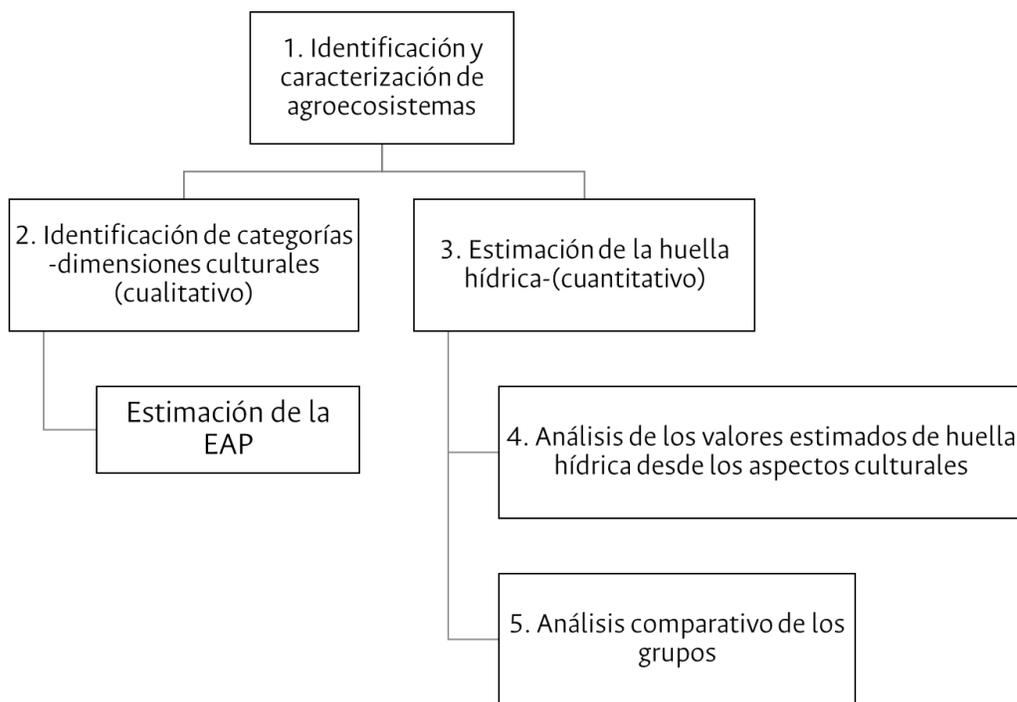


Figura 4-1. "Esquema metodológico de la investigación".

El acopio de información y el trabajo de campo se realizaron durante el año 2015 y el primer trimestre del 2016. Se recopiló información relacionada con el manejo de las fincas, prácticas de cultivo, consumo de agua de los cultivos de papa y pastos e información meteorológica y de suelos para el periodo comprendido entre los años 2009 y 2014.

4.1 Revisión de fuentes bibliográficas y bases de datos.

Se revisaron estadísticas oficiales de la Gobernación de Cundinamarca (2010a, 2010b, 2014), Fedepapa (2010) y DANE (2006) para identificar aquellos municipios que fueran representativos en la producción de papa y pastos. Se consultó el centro de documentación de la Corporación Autónoma de Cundinamarca (CAR), particularmente en la búsqueda de información relacionada con aspectos biofísicos y socioeconómicos de microcuencas intersectadas por núcleos productivos de papa representativos y que estuvieran ubicados cerca de Bogotá²⁹.

Se realizó la búsqueda de artículos y libros en la base de datos del SINAB de la Universidad Nacional de Colombia con criterios de búsqueda relacionados con el cultivo de papa, el cultivo de pasto, el metabolismo social, el agua en la agricultura y la huella hídrica.

Se seleccionó la microcuenca Alto Río Ubaté debido a su cercanía a Bogotá, la línea base existente e información biofísica y socioeconómica disponible. Llamaron la atención los reportes existentes sobre conflictos relacionados con la transformación y deterioro del ecosistema de páramo por los cultivos de papa, ganadería de leche y minería por encima de la cota de 3000 m.s.n.m (CAR; Valencia, 2009). Se encontraron reportes sobre la importancia de la producción de papa y leche, los impactos generados en el territorio y la caída de la producción asociada a fenómenos meteorológicos, entre otros aspectos (El Tiempo, 2011; Guiza, 1991).

Así mismo, se encuentra que a pesar de las restricciones para la siembra, los agricultores reciben incentivos de entidades como Fedepapa y son objeto de sanciones por parte de la CAR (2014). Se encuentran reportes de la intervención público privada para la recuperación de suelos y la implementación de modelos de producción con labranza mínima, con la vinculación de algunas asociaciones de productores (Birbaumer, 2000; CIAT, 2015; Rodríguez *et al.*, 2015).

²⁹ Desde un principio se planteó que la investigación se desarrollaría en una zona cercana a Bogotá, que tuviese información de línea base en temas agrícolas, caracterización biofísica y socioeconómica adecuada.

4.2 Recorrido preliminar en la MARU.

Después de seleccionar la MARU, se realizaron tres recorridos para el reconocimiento del territorio. Se visitó el casco urbano del municipio de Carmen de Carupa junto con las veredas Alto de Mesa, Centro, El Alisal, El Hato y Mortiño, puesto que fue en estos lugares donde se establecieron los primeros contactos con agricultores y asociaciones de productores de papa (Asoagroalisal y Corpomortiño).

Se realizaron acercamientos con agricultores para conocer sus percepciones sobre el agua, actividades desarrolladas a nivel de la finca, cultivos y coberturas existentes, encontrando diferencias entre propietarios y arrendatarios³⁰. Se consideraron algunos reportes previos que indican que los cultivos de papa son manejados por el propietario de la finca o el arrendatario, con una distribución aproximada de 65% y 45% respectivamente (Rojas y Núñez, 2008, Delgado y Páramo, 2002), por lo que se definieron dos grupos para el análisis: agroecosistemas cuyos cultivos son manejados por el propietario de la finca y agroecosistemas cuyos cultivos son manejados por un arrendatario.

Se encontró que los agricultores no utilizan riego. Bajo estas circunstancias, los arrendatarios se desplazan permanentemente con el fin de conseguir lotes en condiciones favorables para lograr obtener dos cosechas al año mientras que los propietarios solo reportan una cosecha al año, alternando el cultivo de papa con pasto para ganado de leche.

En general se observó que hay poco interés por mantener el cultivo de papa en la región debido a los precios, escasez de lluvias y costos de producción, lo cual coincide con las tendencias reportadas por el gremio³¹ (Fedepapa, 2010). Fueron muy insistentes en las sanciones aplicadas por la CAR frente a las siembras de papa por encima de los 3.000 m.s.n.m y las restricciones legales para la captación de aguas superficiales y subterráneas, permisos y costos asociados al riego.

³⁰ En cada caso se tomó nota de lo reportado por cada persona y algunas fotografías de lo observado.

³¹ Proyecciones sustentadas en la sobreoferta, precios bajos y reducción en el consumo per cápita.

El uso prioritario del agua en la región es el consumo humano, de manera que los acueductos verdes existentes en la zona rural son para uso doméstico. Se reporta que el suministro de agua se da solamente un día a la semana, por lo que las familias deben tener reservorios para su almacenamiento.

Se observó que el territorio ha sido fuertemente intervenido por la agricultura y la ganadería, a tal punto que en las fincas fue muy evidente que el porcentaje de área dedicada al cultivo oscila entre el 95 y 100% del terreno, por lo que en esta investigación se asumió que las prácticas de manejo realizadas en el cultivo (agroecosistema menor) son equivalentes a las que se aplican en la finca (agroecosistema mayor)³² (figura 4-2).



Figura 4-2. “Imágenes de algunas de las fincas analizadas, donde se observa el área de cultivo respecto al área de la finca”. Polígonos ubicados sobre imágenes de Google Earth, 2015.

Con esta información se procedió a diseñar una encuesta que permitiera recopilar información sobre aspectos cualitativos y cuantitativos requeridos en el análisis de determinantes culturales del manejo de los cultivos de papa y pastos, así como para la estimación de la huella hídrica para propietarios y arrendatarios.

Para la selección de los agricultores se utilizó un método probabilístico discrecional, con los criterios que se presentan en la tabla 4-1.

³² En el caso de los arrendatarios, dedican el 100% del terreno alquilado para sembrar.

Tabla 4-1. Criterios para la selección probabilística discrecional de la muestra.

Criterios	Observaciones
Ubicación	La finca se ubica dentro de los límites físicos definidos para la MARU.
Tenencia	Disponer de información sobre insumos utilizados en los cultivos, cantidades, prácticas de manejo, fecha de siembra, actividades comunitarias en torno al agua, presencia institucional, manejo de ganado en la finca, consumo y manejo del agua, actividades para la protección y conservación del suelo y del agua.
Pertinencia	Tener a su cargo una finca o cultivos de papa y/o pastos durante el periodo 2009-2014. Por lo menos se ha mantenido un ciclo o cosecha de los cultivos de interés.
Información	El entrevistado debe haber participado de las labores de la finca, especialmente de los cultivos establecidos durante el periodo 2009-2014.

4.3 Diseño, validación y aplicación de la encuesta.

Se asumieron tres dimensiones culturales que definen el consumo de agua en los cultivos de papa y pasto en la MARU: organización social, tecnología y percepciones de la comunidad sobre el agua.

Para cada una de estas tres dimensiones se definió un listado de variables cualitativas y cuantitativas priorizadas, como se presenta en la tabla 4-2.

Tabla 4-2. Dimensiones culturales analizadas y sus componentes.

Organización social	Percepciones sobre el agua	Tecnología
<ul style="list-style-type: none"> • Área sembrada en papa – pastos. • Disponibilidad y acceso a recursos económicos • Edad del agricultor. • Fuentes de ingreso del agricultor. • Género del agricultor. • Organización de la comunidad en torno al agua. • Participación del agricultor en acciones colectivas para el cuidado del agua. • Pertenencia del agricultor a una asociación. • Instituciones presentes. • Tenencia de la tierra. • Tiempo de permanencia del agricultor en la finca. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conciencia sobre los efectos del cultivo bajo un modelo de producción convencional sobre el agua. • Interés y acciones por el cuidado de las fuentes hídricas superficiales y por comprender sus cambios. • Interés por los vertimientos generados por el cultivo. • Interés y acciones para proteger y conservar el suelo y el agua. • Interés por la calidad del agua. • Percepción sobre la intervención de las instituciones para el cuidado del agua. • Percepciones sobre el agua en la finca y cambios observados en fuentes hídricas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Asistencia técnica. • Análisis de suelos. • Cobertura del suelo. • Establecimiento y mantenimiento de conectores internos y externos en la finca. • Fuentes de agua utilizadas. • Fuentes de alimento para el ganado. • Renovación de praderas. • Incorporación de abonos verdes. • Manejo de plagas³³ en el cultivo. • Bovinos en finca. • Manejo de excretas del ganado. • Manejo de la fertilización del cultivo. • Mecanización y labranza del suelo. • Rendimiento del cultivo. • Trazado de surcos. • Uso de riego.

A partir del listado de aspectos culturales identificados, se diseñó un primer modelo de encuesta compuesta por 75 preguntas (cerradas, categorizadas y abiertas), que fue validada con 10 agricultores (n=10). Finalmente se generó una encuesta con 51 preguntas que aportaran información para cada una de las variables categóricas preestablecidas en la tabla 4-x (ver anexo A-1).

Se revisaron las bases de datos catastrales, sin embargo al no tener certeza sobre el número de fincas existentes en la MARU, se optó por tomar una muestra de 60 fincas (n=60) en las veredas Alisal, Alto de Mesa, Centro, El Hato y Mortiño procurando que un

³³ Hace referencia a Cualquier especie, raza o biotipo vegetal o animal o agente patógeno dañino para las plantas o productos vegetales (CIPF, 2005).

50% fueran manejadas por sus propietarios y un 50% por arrendatarios Todos los encuestados fueron informados sobre el propósito de la encuesta, el uso que se daría a la información suministrada y el periodo de tiempo a analizar (2009-2014).

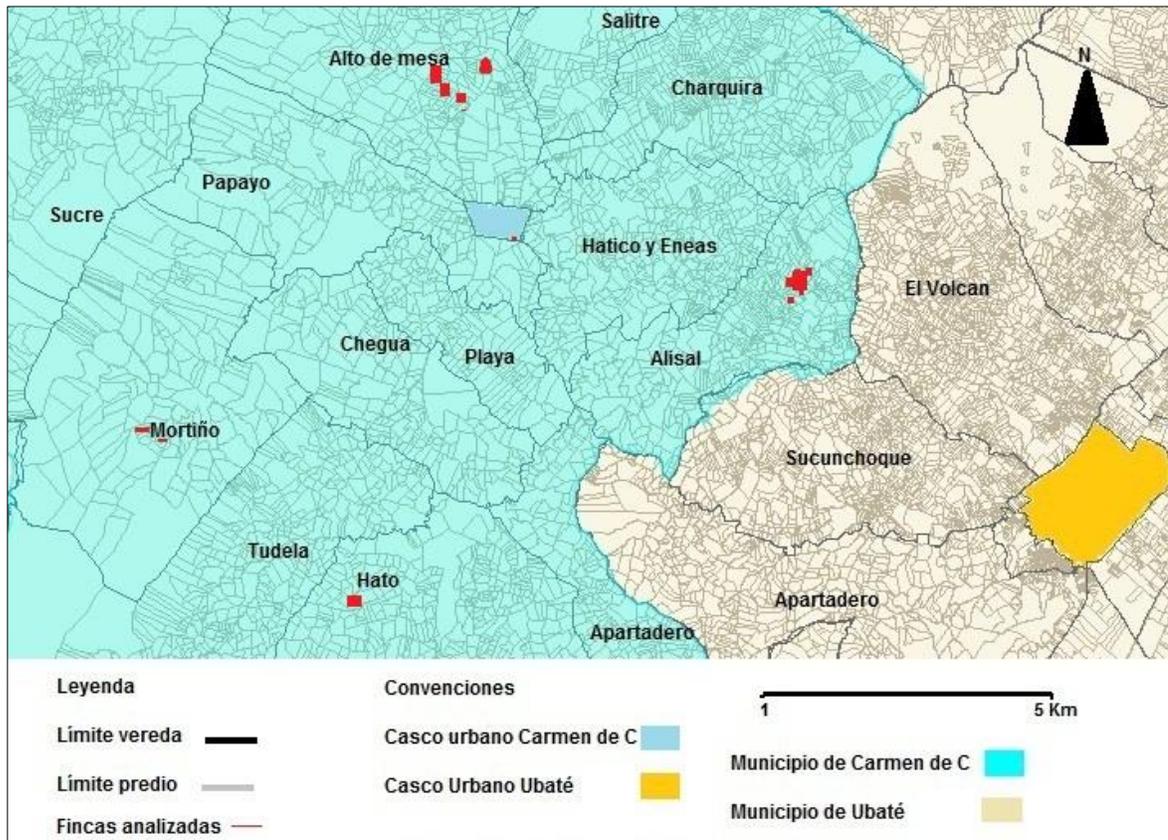


Figura 4-3. “Distribución unidades catastrales”. Adaptado de IGAC (2009, 2010).

En la figura 4-3 se muestra la distribución de las fincas del grupo propietarios³⁴, para dar una idea de la ubicación y distribución de las mismas. Elaborado sobre información catastral del IGAC (2009, 2010).

Los datos obtenidos para cada una de las variables fueron tabulados en una hoja de Excel ®. Las variables cuantitativas se sometieron a un análisis descriptivo para cada uno de los grupos.

³⁴ Como se indica más adelante, el cálculo de la Estructura Agroecológica Principal EAP y el levantamiento de polígonos se realizó únicamente para el grupo de propietarios.

Las variables cualitativas (dicotómicas o dummy) fueron sometidas a un análisis por tablas de contingencia para establecer o rechazar la independencia estadística entre cada una de las variables con respecto a la tenencia de la tierra. Aplicando la prueba Chi –cuadrado de Pearson se contrastó si las diferencias observadas entre los dos grupos (propietarios y arrendatarios) son atribuibles al azar. En los casos donde se obtuvo un P-valor <0.05 , para un nivel de significancia del 5%, se rechazó la hipótesis nula de independencia entre la variable respuesta y el tipo de tenencia de la tierra. Este análisis estadístico se realizó con el programa R (The R Project for Statistical Computing) versión 3.2.2 (2015-08-14).

Las variables cualitativas que mostraron dependencia con la tenencia, fueron sometidas a un análisis de tablas de correspondencia múltiple. En el análisis de los resultados se tuvieron en cuenta a manera de variables explicativas, las variables nominales ordinales y la información suministrada por los agricultores en las preguntas abiertas y conversaciones sostenidas.

Utilizando el programa estadístico SPSS, se generó un gráfico para cada uno de los aspectos culturales, donde se analizan las relaciones de dependencia e independencia del conjunto de variables categóricas a partir de los datos obtenidos en las tablas de contingencia. Allí, las distancias entre las variables categóricas y la modalidad de tenencia de la tierra reflejan las relaciones de dependencia y semejanza entre ellas.

4.4 Valoración de la Estructura Agroecológica Principal (EAP).

Teniendo en cuenta los aspectos culturales relevantes identificados como determinantes del consumo de agua en agroecosistemas descritos previamente y la metodología propuesta por León (2014), se cuantificó la Estructura Agroecológica Principal (EAP) de las fincas cuyos cultivos de papa y pasto son manejados por sus propietarios.

No se cuantificó la EAP en fincas manejadas por arrendatarios debido a que manifestaron no tener interés por la conservación de las coberturas en la finca y mucho menos por el

establecimiento de conectores internos y externos. Además las siembras se realizan en diferentes lotes cada vez (figura 4-4).



Figura 4-4. "Fincas lote 1 y lote 2. Vereda Mortiño, Carmen de Carupa. Cultivos manejados por arrendatarios".

Se hicieron algunos aportes a la metodología propuesta por León (2014), incorporando las variables categóricas determinantes del consumo del agua en los cultivos de papa y pastos. Se realizó el levantamiento de los perímetros de las 30 fincas con un equipo GPS Garmin® Etrex Vista y se tomó nota sobre la diversidad de especies vegetales presentes.

Para la cuantificación se incluyeron 10 atributos, cada uno de ellos con un valor mínimo de 0 y un máximo de 10, adaptados y ponderados según las condiciones de las fincas analizadas en esta investigación, cuyos propietarios son responsables del manejo de los cultivos de papa y pastos. A continuación se describen los atributos.

Atributo 1 - Articulación del agroecosistema con la MARU (AAM): existe coherencia entre las actividades realizadas en el agroecosistema y las características y vocación del suelo por lo que implementa agricultura de subsistencia y semicomercial, labranza mínima o de conservación, incorpora abonos verdes, la fertilización nitrogenada es adecuada, evita el sobre pastoreo y composta las excretas del ganado. El agricultor manifiesta interés y actúa para proteger el suelo y las fuentes hídricas de la micro cuenca (tabla 4-3).

Tabla 4-3. Valores de referencia para la AAM en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Alta.	10	Se adelantan actividades para la recuperación de la cuenca, manteniendo vegetación nativa y los pastizales vienen siendo diversificados con arbustos o diversificados. Se considera voluntariamente dejar el cultivo intensivo de papa por los impactos que genera ó se mantiene bajo un enfoque de labranza mínima y buenas prácticas de cultivo. Mantiene en su finca hasta 2,5 bovinos/ha.
Media.	7-9	Se mantienen los pastizales, se inician procesos para la siembra de especies nativas, las cuales reciben el mantenimiento necesario para garantizar su establecimiento y desarrollo. Es consciente de los impactos del cultivo tradicional de papa sobre el suelo y el agua. Mantiene en su finca hasta 2,5 bovinos/ha.
Baja.	5-6	Es consciente de los impactos del cultivo tradicional de papa sobre el suelo y el agua. Aunque predominan los pastizales, se inician procesos para la siembra de especies nativas. Mantiene en su finca hasta 2,5 bovinos/ha.
Muy baja.	0-4	Considera que los impactos del cultivo de papa tradicional sobre el suelo y el agua no son relevantes. En la preparación del terreno incluye el uso de implementos que destruyen la estructura del suelo, lo invierten y exponen, facilitando la pérdida de humedad. Tiene más de 2,5 bovinos/ha, no le preocupa el sobre pastoreo y compactación del suelo.

Atributo 2- Extensión de conectores externos (ECE): hace referencia a la conectividad de la finca con el entorno y su articulación con parches de bosque que resguardan fuentes hídricas superficiales (agua azul). Favorece la conservación de la humedad del suelo (agua verde) mediante su cobertura. Incluye especies nativas, las cuales presentan menores tasas de transpiración con respecto a especies exóticas (Díaz *et al.*, 2005) (tabla 4-4).

Tabla 4-4. Valores de referencia para la ECE en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Perímetro continuo.	10	Cubre entre el 75 - 100 % del suelo en los linderos de la finca con especies nativas, su propósito es reducir la velocidad del viento, dar sombrío y proteger zonas aledañas a fuentes hídricas superficiales.
Perímetro discontinuo.	7-9	Cubre entre el 50-75 % del suelo en los linderos de la finca con especies nativas, su propósito es reducir la velocidad del viento, dar sombrío y proteger zonas aledañas a fuentes hídricas superficiales.
Perímetro fuertemente discontinuo.	5-6	Cubre entre el 10-50 % del suelo en los linderos de la finca con especies nativas, su propósito es reducir la velocidad del viento, dar sombrío y proteger zonas aledañas a fuentes hídricas superficiales.
Perímetro extremadamente discontinuo.	0-4	Cubre menos del 10% del suelo en los linderos de la finca con especies nativas, las plantas son muy pequeñas y no reducen la velocidad del viento y el sombrío aportado es mínimo.

Atributo 3 - Diversificación de conectores externos (DCE): evalúa la funcionalidad de la cerca viva en el lidero de la finca para conservar la humedad del suelo, reducir la velocidad del viento, la exposición del suelo y animales a la radiación solar, reducir la evaporación de reservorios de agua dentro de la finca, y son fuente alternativa de alimento, el número de estratos existentes hacen resistencia aerodinámica para reducir el efecto del viento sobre el suelo (tabla 4-5).

Tabla 4-5. Valores de referencia para la DCE en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Perímetro altamente diversificado.	10	Entre el 75% y el 100% de las cercas y setos son densos, con alta diversidad de especies arbóreas, con dos o más estratos y dos o más hileras.
Perímetro moderadamente diversificado.	8-9	Entre el 50% y el 75% de las cercas y setos son densos, con diversidad media de especies arbóreas y por lo menos con dos estratos y dos hileras.
Perímetro levemente diversificado.	6-7	Entre el 25% y el 50% de las cercas y setos son densos, con baja diversidad de especies arbóreas.
Perímetro poco diversificado.	3-5	Menos del 25% de las cercas y setos son densos, con baja diversidad de especies arbóreas.
Perímetro no diversificado.	0-2	El 100% de las cercas vivas tienen una sola especie arbórea y una sola hilera.

Atributo 4 - Extensión de conectores internos (ECI): evalúa la extensión lineal de la vegetación interna que conecta a los agroecosistemas menores entre sí y con las cercas externas, que permite la cobertura del suelo, conservación de humedad, sombrero de reservorios de agua y constituyen fuente alternativa de alimento para humanos y no humanos (tabla 4-6).

Tabla 4-6. Valores de referencia para la ECI en agroecosistemas en la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Conectividad alta.	10	Entre el 75% y el 100% de las áreas internas del agroecosistema mayor están conectadas con cercas vivas o setos de especies nativas y/o exóticas.
Conectividad media.	8-9	Entre el 50% y el 75% de las áreas internas del agroecosistema mayor están conectadas con cercas vivas o setos de especies nativas y/o exóticas.
Conectividad baja.	6-7	Entre el 25% y el 50% de las áreas internas del agroecosistema mayor están conectadas con cercas vivas o setos de especies nativas y/o exóticas.
Conectividad muy baja.	3-5	Entre el 12% y el 25% de las áreas internas del agroecosistema mayor están conectadas con cercas vivas o setos de especies nativas y/o exóticas.
Conectividad extremadamente baja.	0-2	Menos del 12% de las áreas internas del agroecosistema mayor están conectadas con cercas vivas o setos de especies nativas y/o exóticas.

Atributo 5- Diversificación de Conectores Internos (DCI): evalúa los diferentes estratos e hileras de vegetación natural, huertas, jardines, que sirvan para cubrir el suelo, resguardar la humedad y sean fuente de alimento. Incluye especies fijadoras de nitrógeno que faciliten la dinámica dentro del agroecosistema y así reducir la aplicación de fuentes químicas (tabla 4-7).

Tabla 4-7. Valores de referencia para la DCI en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Conector interno altamente diversificado.	10	Entre el 75% y el 100% de las cercas y setos son densos, con alta diversidad de especies vegetales, con dos o más estratos y dos o más hileras. Incluye especies fijadoras de nitrógeno.
Conector interno moderadamente diversificado.	8-9	Entre el 50% y el 75% de las cercas y setos son densos, con alta diversidad de especies vegetales y por lo menos con dos estratos y dos hileras. Incluye especies fijadoras de nitrógeno.
Conector interno levemente diversificado.	6-7	Entre el 25% y el 50% de las cercas y setos son densos, con diversidad media de especies vegetales y por lo menos con dos estratos y dos hileras. Incluye especies fijadoras de nitrógeno.
Conector interno poco diversificado.	3-5	Menos del 25% de las cercas y setos son densos, con diversidad baja de especies vegetales y por lo menos con dos estratos y dos hileras o cualquier porcentaje de setos y cercas vivas internas que posean solo una especie, poco densa y en una hilera. Incluye especies fijadoras de nitrógeno.
Conector interno no diversificado.	0-2	Divisiones de áreas conformadas por cualquier material no vivo (alambres de púas o cercas eléctricas).

Atributo 6- Uso y conservación del suelo (UCS): este indicador está directamente relacionado con las actividades productivas de la finca y expresa una de las principales diferencias que distancian a los actuales agroecosistemas mayores y en general a los modelos de agricultura: la arquitectura, la disposición interna de los sistemas de cultivo, que se resume en la disyuntiva policultivo – monocultivo. Estos usos del suelo dicotómicos a su vez se relacionan con la conservación del recurso suelo en términos de varias características (aumentos de materia orgánica, equilibrio de nutrientes, mejoramiento de propiedades físicas), pero especialmente con la presencia o no de fenómenos erosivos. Aplica labranza para conservar porosidad y resguardar agua verde, trazado de surcos para evitar escorrentía excesiva, hace rotación de cultivos con pastoreo controlado. Aplica fertilizantes y enmiendas de acuerdo con el análisis de suelos y recomendaciones (tabla 4-8).

Tabla 4-8. Valores de referencia para la UCS en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Policultivos y sistemas agrosilvopastoriles en cobertura total.	10	El 100% de la finca está utilizada con policultivos u otros que garantizan alta diversidad productiva. Nula o poca evidencia de erosión de suelos, fertiliza adecuadamente y aplica labranza de conservación. El suelo siempre está cubierto.
Policultivos y sistemas agrosilvopastoriles en cobertura media-alta.	8-9	Entre el 50% y el 100% de la finca está utilizada con policultivos u otros que garantizan alta diversidad productiva o síntomas de erosión débil, especialmente en flujo laminar en el 10-20% de la finca. Fertiliza adecuadamente y aplica labranza de conservación. El suelo siempre está cubierto.
Monocultivos, ganadería y sistemas forestales.	3-7	La finca posee los tres componentes en distintos porcentajes o la erosión es moderada a fuerte en más del 40% de la finca.
Monocultivos o ganadería.	1-2	La finca se utiliza solamente en un tipo de cobertura o aparecen síntomas de erosión en cárcavas o surcos en más del 50% de la finca.

Atributo 7 - Manejo de arvenses (MA): hace referencia a las prácticas de manejo de arvenses que favorecen la conservación de la humedad del suelo y la reducción en el aporte de agentes contaminantes (herbicidas) (tabla 4-9).

Tabla 4-9. Valores de referencia para la MA en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Arvenses en cobertura.	7-10	En algunos sectores del agroecosistema mayor se manejan franjas, parches, hileras o superficies aleatorias de arvenses.
Control mecánico de arvenses.	2-6	No se mantienen arvenses como parte de la cobertura para evitar competencia con las plantas de papa/pasto y se manejan controlan con azadón o deshierba manual.
Control químico de arvenses.	1	Aplicación de herbicidas.

Atributo 8 - Otras prácticas de manejo (OP): Evalúa como el agricultor estructura y organiza su finca y los procesos en función de la protección del agua, su interés por cubrir el suelo, aplicar labranza de conservación, establecer especies nativas (tabla 4-10).

Tabla 4-10. Valores de referencia para la OP en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Prácticas para la protección y conservación del agua	10	Además de establecer especies nativas dentro de la finca, se interesa por reforestar la ronda de quebradas cercanas a la finca. Cubre el suelo permanentemente, implementa labranza de conservación, tiene colectores de agua.
Prácticas para el uso adecuado del agua	5-9	Ha sembrado especies nativas en la finca. Cubre el suelo e implementa prácticas de labranza acordes con el uso potencial del suelo.
Prácticas para lograr el mayor rendimiento del cultivo sin importar el costo ambiental	1-4	No se interesa por cubrir el suelo, implementa labranza que le asegure un buen rendimiento del cultivo.

Atributo 9 - Percepción conciencia (PC). Hace referencia a la sensibilidad y atención prestada por parte del agricultor hacia los cambios en las fuentes hídricas, el análisis sobre las posibles causas de cambio y las acciones y medidas que se pueden tomar al respecto. Participa de acciones colectivas y emprende acciones individuales para la protección del suelo y el agua (4-11).

Tabla 4-11. Valores de referencia para la PC en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Alto grado de conciencia ambiental y conocimiento de roles de la biodiversidad.	10	Los agricultores son conscientes de los efectos de la agricultura en el territorio y de otras actividades productivas. Participa de acciones colectivas y emprende acciones individuales para la protección del suelo y el agua. La importancia de los factores ambientales y de la biodiversidad en sus fincas. Implementa agricultura ecológica.
Medio grado de conciencia ambiental.	5-9	Los agricultores son conscientes y hacen referencia a los efectos de la agricultura en el territorio y de otras actividades productivas.
Bajo o nulo grado de conciencia ambiental y de roles de la biodiversidad.	1-4	Los agricultores no le dan importancia a los factores ambientales o de biodiversidad ni conocen el rol de enlaces, setos y cercas vivas. No participa no se vincula a las actividades para la protección del suelo y el agua.

Atributo 10 - Nivel de capacidad para la acción (NCA): evalúa la capacidad para realizar adecuaciones que permitan acceder al agua, garantizando un manejo adecuado sin despilfarrar. Cuenta con capacidad económica, se interesa por implementar ideas innovadoras en la finca y en la comunidad, participa de las jornadas de capacitación relacionadas con la conservación del suelo y el agua. Participa en las actividades que adelanta la comunidad para la protección del agua (Tabla 4-12).

Tabla 4-12. Valores de referencia para la NCA en agroecosistemas de la MARU.

Aspecto	Valor	Criterio
Alta capacidad.	10	Los agricultores tienen los medios de infraestructura, financieros, económicos, familiares, sociales y tecnológicos para establecer la EAP funcional y completa en su finca. Participa de las jornadas de capacitación relacionadas con la temática del agua y el suelo en la región. Participa de acciones colectivas para el cuidado del agua.
Media capacidad.	5-9	Los agricultores poseen algunos medios de infraestructura, financieros, económicos, familiares, sociales y tecnológicos para establecer la EAP funcional y completa en su finca.
Baja capacidad.	1-4	Los agricultores no poseen ningún medio cultural para establecer la EAP funcional y completa en su finca, o algún factor clave falla para impedirlo.

En general las fincas se encuentran desarticuladas de la Estructura Ecológica Principal (EEP) de la MARU, razón por la cual el análisis de articulación entre la EAP y la EEP no se incluyó en la presente investigación.

4.5 Estimación de la huella hídrica de los cultivos de papa y pastos bajo el modelo de propietarios y arrendatarios.

La estimación se hizo para los cultivos de papa y pastos³⁵ y se tomó como referencia las prácticas de cultivo encontradas en los dos grupos de productores definidos previamente

³⁵ Para los años 2010 y 2014 no se contemplaron siembras de papa por parte de los propietarios, quienes usualmente siembran un ciclo de papa y un ciclo de pasto por año. Por su parte los arrendatarios siembran papa permanentemente.

(propietarios y arrendatarios). Se aplicó la metodología sugerida por Salmoral *et al* (2011) y Hoekstra *et al* (2009, 2011) como se presenta en la figura 4-5.

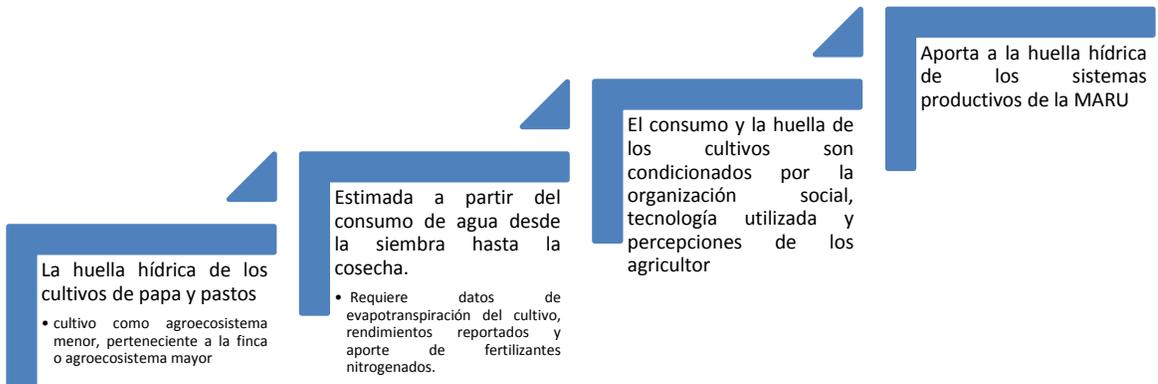


Figura 4-5. Esquema análisis conceptual de orientación de la estimación de la huella hídrica de cultivos priorizados. Adaptado de Hoekstra *et al.* (2009, 2011) y Salmoral *et al.* (2011).

Para estimar la huella hídrica de los cultivos de papa y pastos para cada tipo de agroecosistema en la MARU, se requiere conocer el valor de cada uno de los componentes de la huella como se presenta en la ecuación 4.1:

$$HH_{cultivo} = HH_{verde} + HH_{azul} + HH_{gris} \quad (4.1)$$

En particular, para los componentes azul y verde de la huella hídrica, se requiere determinar el consumo del agua de cada uno de los cultivos analizados. Por esta razón se estimó la evapotranspiración de cada uno con el aplicativo CROPWAT 8.0 (FAO, 2010), que cuenta con herramientas para estimar la evapotranspiración de referencia (ET_o), los requerimientos de agua del cultivo, la precipitación efectiva y el balance de humedad del suelo.

La estimación de la evapotranspiración que arroja CROPWAT se basa en el método combinado de Penman- Monteith (1990 citado por Allen *et al.*, 2006a) que fue desarrollado a partir de un cultivo de referencia hipotético que representa la evapotranspiración de una superficie extensa de pasto verde, cuya altura es de 0,12 m, tiene una resistencia

superficial de 70 s/m y un albedo de 0,23 y de altura uniforme, creciendo activamente y adecuadamente regado. El modelo se basa en la ecuación 4.2.

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(Rn-G) + \gamma \frac{900}{T-273} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34 U_2)} \quad (4.2^{36}).$$

La evapotranspiración de referencia (ET₀) constituye un referente para comparar la evapotranspiración entre diferentes períodos del año, diferentes regiones y cultivos. La ecuación utiliza datos de radiación solar, temperatura del aire, humedad y velocidad del viento. Sin embargo, no se puede esperar que la ecuación formulada para el cálculo de la evapotranspiración, basada en datos climáticos, determine la evapotranspiración perfectamente, bajo diferentes situaciones climáticas y de manejo de los cultivos. Esto obedece a que como modelo simplifica la realidad y la incertidumbre de los datos climáticos, edafológicos y agronómicos empleados³⁷. El aplicativo permite además, estimar la precipitación efectiva para cada ciclo de cultivo.

Se recopiló y normalizó información meteorológica suministrada por la CAR para los años 2009-2014, proveniente de las estaciones El Hato (5,27844; -73,9111), Nazaret (5,3865; 73,9052) y Novilleros (5,3356; -73,7855), las cuales aportan información relevante para el área de estudio (Figura 4-6).

³⁶ Donde:

ET₀: evapotranspiración del cultivo de referencia expresada en mm/día.

Rn: radiación neta en la superficie del cultivo expresada en Mj/m²/día.

G: flujo del calor de suelo expresado en MJ/m².

T: temperatura media del aire a 2 m de altura expresada en °C.

U₂: velocidad del viento a 2 m de altura expresada en m/s.

e_s: presión de vapor de saturación expresada en kPa.

e_a: presión real de vapor expresada en kPa.

e_s - e_a: déficit de presión de vapor expresado en kPa.

Δ: pendiente de la curva de presión de vapor expresada en kPa/°C.

γ: constante psicrométrica expresada en kPa/°C.

³⁷ Se han realizado comparaciones entre las estimaciones directas de la evapotranspiración en campo con respecto a las obtenidas con el modelo FAO Penman Monteith y se han encontrados diferencias (Allen *et al.*, 2006a). Variables como la interceptación de agua puede variar, por ejemplo, para una pradera de pasto kikuyo se reportan valores entre el 31 y el 36% (Ataroff y Naranjo, 2009), para papa entre el 4 y el 23 % (Saffigna *et al.*, 1976), La interceptación varía además, en función de la densidad de siembra, la pendiente del terreno y el sistema de siembra, aspectos que son definidos por cada agricultor (Allen *et al.*, 2006c; Castro, 1990; Corpoica, 2013; PRONAR, 1992).

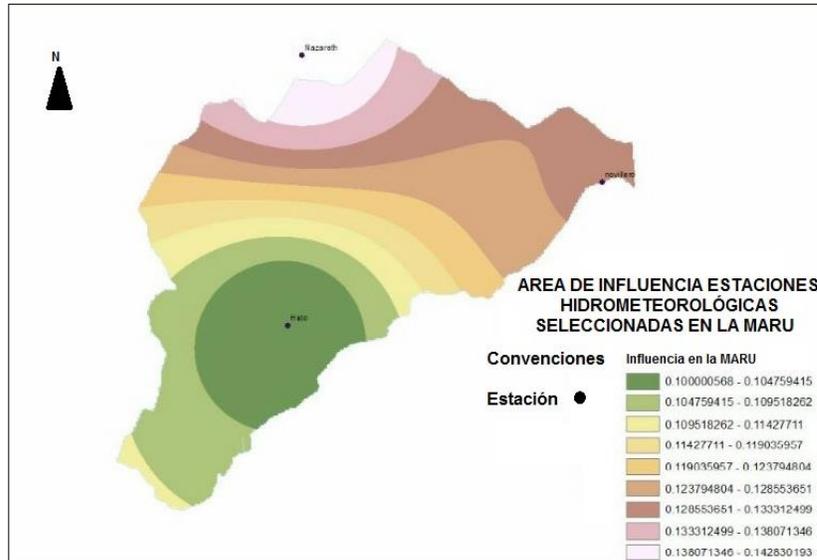


Figura 4-6. “Esquema de representación de la influencia y pertinencia de los datos aportados por la estaciones hidro meteorológicas El Hato, Novillero y Nazaret en la presente investigación”.

Adicionalmente se revisaron series históricas con datos diarios y mensuales para 30 años, con el fin de tener un panorama más claro sobre el comportamiento de las lluvias, la temperatura y la humedad en la región así como de la variabilidad climática. Se realizó un análisis de calidad de los datos disponibles mediante curvas de acumulación de masas, para identificar posibles diferencias entre estaciones.

Para incorporar en la estimación el balance de humedad en el suelo, el aplicativo CROPWAT 8.0 permite estimar el total de agua disponible en la zona radicular, que corresponde a la diferencia entre el contenido de humedad a capacidad de campo y el punto de marchitez permanente. Representa la cantidad de agua que un cultivo puede extraer de su zona radicular y su magnitud depende del tipo de suelo y la profundidad radicular.

Para la presente investigación, se obtuvo información sobre características físicas e hidráulicas de los suelos de la MARU (CAR y Ambiotec, 2006; Pinto, 2014, 2015). Los autores reportan suelos cuya profundidad efectiva varía entre 50 y 20 cm entre zonas planas y escarpadas respectivamente. La textura predominante es franco a franco arcillosa, con una capacidad de almacenamiento de agua de 10 cm/m de suelo y una reserva de humedad estimada al inicio de las siembras que llega hasta los 50 mm. La tasa

máxima de infiltración reportada es de 10 mm/día y se asumió un agotamiento inicial de la humedad del suelo del 45%.

Para estimar los requerimientos de los cultivos se tomaron referencias locales sobre el comportamiento fenológico tanto de la papa como del pasto. Se tomaron los coeficientes de uso consuntivo (K_c) sugeridos por FAO y PRONAR, esta última referencia corresponde a una validación en condiciones de alta montaña en la región andina³⁸.

Se utilizó como referencia la variedad Pastusa Suprema, puesto que el 100% de los encuestados reportaron haber utilizado esta variedad recientemente y el pasto kikuyo.

Cálculo de la huella hídrica verde.

Habiendo estimado la evapotranspiración de los cultivos por ciclo de producción (mm/ciclo), se multiplica por un valor constante de 10 para obtener el consumo de agua en el cultivo (CWU_{cultivo}) por hectárea. Para estimar la huella hídrica verde se dividió el CWU del cultivo expresado en m^3/ha por el rendimiento (Y) del cultivo expresado en t/ha , como se presenta en la ecuación 4.3.

$$HH \text{ verde} = \frac{CWU \text{ verde } \left(\frac{m^3}{ha}\right)}{Y \left(\frac{t}{ha}\right)} = m^3/t \quad (4.3).$$

Cálculo de la huella hídrica azul.

La huella hídrica azul corresponde a la disminución en la cantidad de agua disponible en fuentes superficiales y subterráneas en la micro cuenca por cuenta de un proceso antrópico, en este caso los cultivos. En este caso particular, corresponde a la cantidad de agua extraída de ríos, lagos y acuíferos subterráneos mediante equipos de riego para el suministro en cultivos.

³⁸ Se tomaron los valores de K_c reportados por PRONAR (1992) para condiciones alto andinas. No presentan diferencias significativas con respecto a los reportados por FAO (Allen *et al.*, 2006a) y Castro (1990) cuyos valores de K_c para papa desde 1,07 hasta 6,6. En el caso del pasto kikuyo se reportan valores homogéneos en las fuentes consultadas, entre 0,5 y 1,1.

Los agricultores encuestados manifestaron que para el periodo 2009-2014 no aplicaron agua de riego, por lo que no se incluirá la estimación de este componente.

Cálculo de la huella hídrica gris.

La huella hídrica gris corresponde al volumen de agua requerido para asimilar y diluir la carga de contaminantes generados en una actividad productiva en un cuerpo de agua, tomando como referencia la regulación ambiental vigente. Teniendo en cuenta la problemática en torno a los desbalances asociados al aumento de la concentración de nitrógeno en las fuentes hídricas a nivel nacional y la información disponible para la presente investigación, se consideró este elemento en la estimación de la huella hídrica gris, proveniente de la fertilización química y de las excretas del ganado (IDEAM, 2014).

Para su estimación, se toma como referente la cantidad (L) de nitrógeno aportado por ha de papa y pastos para forraje en los agroecosistemas tipificados en el periodo analizado³⁹. El aporte de nitrógeno se estimó a partir de lo reportado por los agricultores.

La cantidad de nitrógeno aportado se comparó con la concentración máxima (Cmax) permisible del agente contaminante en el agua expresada en kg/m³ y la concentración natural (Cnat) del mismo contaminante en fuentes hídricas de la región (CAR, 2016; Hoekstra *et al.*, 2011).

Su estimación por unidad de área sembrada se realiza con la ecuación 4.4:

$$HH_{gris} = \frac{L \left(\frac{kg}{ha} \right)}{C_{max} \left(\frac{kg}{m^3} \right) - C_{nat} \left(\frac{kg}{m^3} \right)} = m^3/ha \quad (4.4)$$

De acuerdo con la encuesta se estableció que para los pastos la aplicación de fertilizantes químicos es nula. En su lugar se incorpora la bovinaza de los animales existentes para el periodo 2009-2014. Se utiliza como referente el aporte de nitrógeno, por ser el elemento con información y estudios disponibles para la cuenca de interés.

³⁹ Para establecer las fechas de siembra, aporte de nitrógeno y rendimientos, se utilizó la información suministrada por los 60 agricultores encuestados en la MARU.

Para estimar la huella hídrica gris por unidad de masa producida (m^3/t), el obtenido en el cálculo de huella hídrica gris por ha cultivada se divide por el rendimiento (Y) del cultivo (t/ha). De esta manera los valores de huella hídrica verde, azul y gris quedan en unidades comparables, utilizando la ecuación 4.5.

$$HH\ gris = \frac{HH\ ha\ cultivo\ (\frac{m^3}{ha})}{Y\ (\frac{t}{ha})} = m^3/t \quad (4.5)$$

Los cultivos y la vegetación en general remueven nitrógeno y las pérdidas que ocurren a través de la volatilización y lixiviación (Albert, 1997; Orozco, 1999). De acuerdo con Hoekstra *et al.* (2009), en la estimación de la huella hídrica gris se considera la cantidad de nitrógeno perdido mediante lixiviación, que para efectos metodológicos se ha establecido que corresponde al 10% del nitrógeno aplicado en el cultivo (Dabrowski *et al.*, 2009; Dabrowski *et al.*, 2002). Como referente de la concentración máxima de nitrógeno se tomó el artículo 39 del decreto 1594 (Presidencia de la República, 1984), donde se establece el límite permisible de nitrógeno en 1 mg/l para nitrógeno amoniacal.

No se incluye el análisis de sostenibilidad propuesto por Hoekstra y colaboradores (2009; 2011) debido a que los agricultores reportaron no utilizar riego en sus cultivos, por lo tanto no están ejerciendo presión directa sobre las fuentes de agua azul en la MARU y no estarían compitiendo con otras actividades que se desarrollan en la microcuenca que si incorporan en sus procesos agua proveniente de fuentes hídricas superficiales y subterráneas.

4.6 Análisis descriptivo de los agroecosistemas propietarios – arrendatarios.

A partir de las 60 encuestas aplicadas a agricultores en la MARU y la observación de las fincas, se describieron y caracterizaron los dos grupos de agroecosistemas previamente determinados: manejados por sus propietarios y por arrendatarios.

Los agroecosistemas manejados por su propietario reportan la siembra alterna de monocultivos (papa y pasto), como una práctica de diversificación de los ingresos y para permitir el descanso del suelo (figura 4-7). Incluso se observó desinterés por sembrar papa para comercializar en el mercado, prefiriendo establecer pastos para ganadería de leche y una cantidad mínima de papa para autoconsumo.

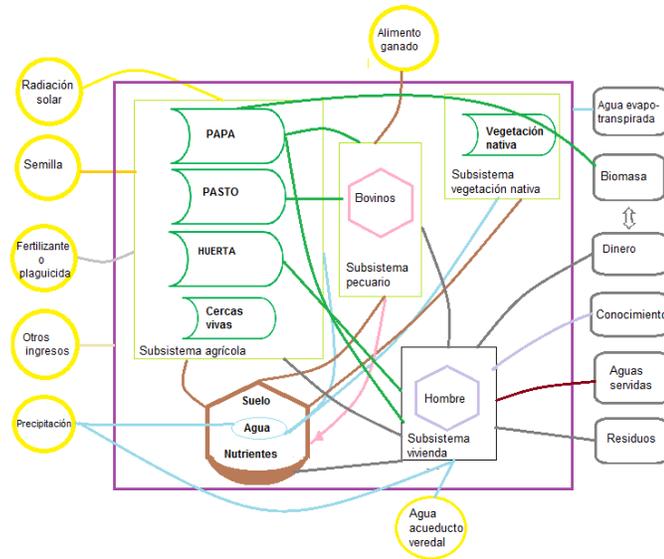


Figura 4-7. Esquema que representa la estructura del agroecosistemas manejado por su propietario en la MARU.

Debido a la inestabilidad de los precios, para los años 2010 y 2014 los propietarios encuestados no sembraron papa para comercializar.

Los arrendatarios reportan la siembra permanente de papa en monocultivo, logrando obtener hasta dos cosechas por año (figura 4-8). No viven en la finca, subcontratan personal de la región para que realice las labores del cultivo y su único propósito es cultivar papa para comercializar. Algunos reportaron tener ganadería de leche como una alternativa de ingreso en lugares diferentes a la MARU.

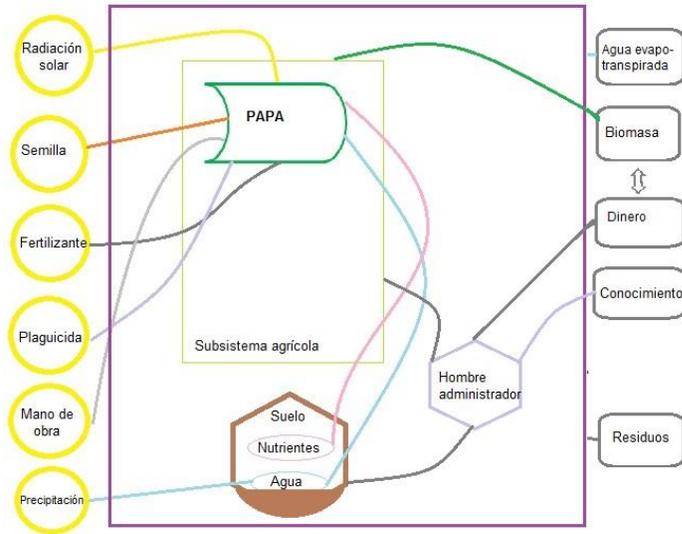


Figura 4-8. Esquema que representa la estructura del agroecosistemas manejado por un arrendatario en la MARU.

En la tabla 4-13 se presenta el calendario de siembras identificado y que se utilizó en posteriores análisis.

Tabla 4-13. Calendario de siembras en los grupos de agroecosistemas identificados en la MARU.

Grupo	Cultivo establecido por semestre											
	2009-1	2009-2	2010-1	2010-2	2011-1	2011-2	2012-1	2012-2	2013-1	2013-2	2014-1	2014-2
Propietario	papa	pasto	pasto	pasto	papa	pasto	papa	pasto	papa	pasto	pasto	pasto
Arrendatario	papa	papa	papa	papa	papa	papa	papa	papa	papa	papa	papa	papa

Respecto a los 60 agricultores encuestados y las fincas a su cargo, se encontraron diferencias en cuanto a las actividades desarrolladas en la finca, género del agricultor, edad, área de la finca y los rendimientos de los cultivos (tabla 4-14).

Tabla 4-14. Resultados del análisis descriptivo de los agroecosistemas identificados en la MARU.

Descripción	Cultivos manejados por el propietario	Cultivos manejados por el arrendatario
Fincas analizadas mediante encuesta.	30	30
Veredas en las que se encuentran.	Alisal, Centro, Mortiño.	Alisal, Alto de Mesa, El Hato, Mortiño.
Actividades desarrolladas en la finca ocasional o permanentemente	Cultivo, ganadería, vivienda	Cultivo
Distribución por género (responsable manejo cultivos)	Femenino: 20 % Masculino: 80 %	Femenino: 0 % Masculino: 100%
Cultivos reportados 2009-2014.	Papa-pastos	Papa
Rendimiento promedio por ciclo de cultivo de papa	7 t/ha	12 t/ha
Rendimiento promedio por ciclo de cultivo de pasto kikuyo ⁴⁰	20 t/ha	No aplica
Área promedio sembrada por finca m ² .	8.863	14.693
Establecimiento de pasto para descanso de lote y alimentación de ganado	Si	No
Edad promedio del agricultor	54,6	49,4

Los cultivos analizados se desarrollan en minifundios, cuyo tamaño no supera 1,5 ha en promedio. Los agricultores arrendatarios se dedican al cultivo de papa, a diferencia de los agricultores propietarios, quienes alternan el cultivo de papa con el pasto en su finca⁴¹ y tienen además una pequeña huerta para el consumo familiar (figura 4-9).

⁴⁰ Fue estimado junto con los agricultores. Este valor es cercano al reportado por Correa *et al.* (2008) para condiciones agroclimáticas similares.

⁴¹ Expresaron además que sólo establecen un ciclo de cultivo de papa por año, permitiendo el descanso del suelo en el segundo semestre mediante el establecimiento de pastos y forrajes, principalmente kikuyo. Para el periodo de análisis, un 75% de los agricultores propietarios manifestaron haber cosechado papa en tres ocasiones, debido a la escasez de las precipitaciones. En contraste, los arrendatarios alquilan lotes para establecer cultivos de papa, logrando obtener hasta dos cosechas por año, argumentando tener la posibilidad de trasladarse a zonas con condiciones agroecológicas más favorables.

Imagen satelital de la finca sobre imagen de Google (2016)

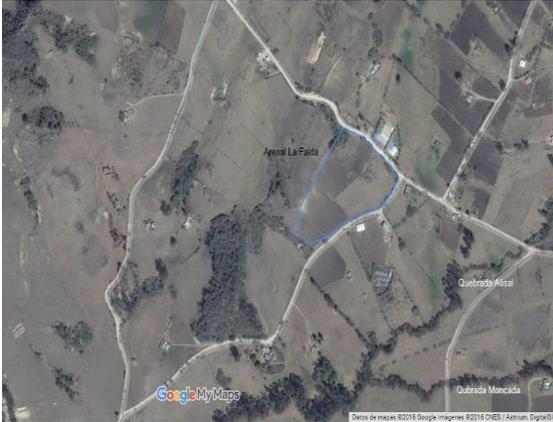


Imagen panorámica



Figura 4-9. “Finca Arenal la falda de propiedad de Erlinda Arévalo”.

En cuanto a la semilla utilizada en el cultivo de papa, se encuentra casos interesantes como es el de Asoagroalisal, cuyos asociados cuentan con su propio laboratorio de bajo costo para la producción de semilla certificada de calidad súper élite. El 100% de los arrendatarios manifestaron adquirir semilla certificada. En general todos reportaron haber realizado en alguna ocasión, selección de la semilla a partir de cosechas previas en la finca. El cultivo de pasto kikuyo se establece con materiales adaptados de la zona, incluso su crecimiento es espontáneo y puede considerarse una “maleza” en el cultivo de papa. Respecto a las especies leguminosas incorporadas recientemente como parte de un programa de renovación de praderas, la semilla en su totalidad es registrada.

En cuanto al rendimiento del cultivo de papa, se tomó como referente la variedad pastusa suprema, cuyo rendimiento estimado bajo condiciones de producción óptimas es cercano a las 40 t/ha (Rojas y Núñez, 2008; Santos *et al.*, 2005; Segura *et al.* 2006). Se encontró que los propietarios reportan un rendimiento promedio por cosecha de 7 t/ha de papa, mientras que los arrendatarios reportan un promedio de 12 t/ha⁴². Durante la aplicación de las encuestas lo agricultores propietarios se mostraron desmotivados frente a la siembra de papa, lo cual pudo alterar sus respuesta. Esto coincide además con lo reportado por Fedepapa (2010) sobre una tendencia a la reducción del área sembrada.

⁴² En ningún caso se encontraron registros físicos de la información, los encuestados recurrieron a la memoria y estimados a la hora de aportar información.

Adicionalmente, algunos agricultores expresaron que la degradación de suelo y la transformación del páramo asociados a la producción agrícola han agotado el suelo. Esto coincide con lo reportado por Díaz *et al.* (2005), quienes afirman que la degradación del suelo de páramo por la ampliación de la frontera agrícola, ha alterado la regulación que existe entre atmosfera, suelo y vegetación. A partir de un modelo de balance hídrico generado para el Páramo de Chingaza, establecieron que si se mantiene la vegetación nativa del lugar, se logra una reducción del 16,5% de la escurrimiento media multianual con respecto al suelo de páramo intervenido. Indican además, que en las zonas de páramo conservadas, los valores de escurrimiento son menores en un rango del 23 al 40%.

Esto corrobora que las características hidráulicas de los suelos que son intervenidos y degradados son afectadas negativamente, comprometiendo la funcionalidad del suelo en la dinámica del agua en zonas de páramo. Las propiedades físicas del suelo, pueden ser modificadas y alteradas como resultado de la intervención humana. Es así como la porosidad del suelo y su capacidad para almacenar agua verde, depende del manejo recibido en el marco de la producción agrícola.

Tradicionalmente se sembraban variedades de papa como la “negra española”, sin embargo en la actualidad hay una amplia difusión de la variedad de papa “pastusa suprema”, cuyo rendimiento y tolerancia a la enfermedad conocida como gota (agente causal *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary) es mejor con respecto a otras variedades (Segura *et al.*, 2006).

En los cultivos manejados por arrendatarios no se encontraron mujeres a cargo, lo que si ocurre en el grupo de propietarios. Ellas, además de dedicarse a las labores del hogar, han asumido la responsabilidad de manejar cultivos y animales presentes en la finca. En cuanto a la edad, tanto propietarios como arrendatarios reportan un valor promedio cercano a los cincuenta años. Esto es coherente con lo reportado por Delgado y Páramo (2002) sobre la migración de los más jóvenes hacia los centros urbanos en búsqueda de mejores oportunidades.

El 100 % de los propietarios residen en la finca con su familia (o parte de la familia), dependen económicamente de los cultivos y el ganado que logran mantener. En promedio

reportaron 2,5 bovinos por ha⁴³, lo cual se ajusta a las condiciones de los suelos de la MARU (IGAC, 2000). Indican además que el forraje producido en la finca no es suficiente para alimentar el ganado, por lo que deben comprar silo, papa, concentrado y sal.

Percepciones sobre el agua.

El 100 % de los encuestados fueron muy insistentes en mencionar las sanciones aplicadas por la CAR frente a las siembras de papa por encima de los 3.000 m.s.n.m, particularmente en la vereda Mortiño⁴⁴. En ninguno de los grupos se utiliza riego, debido a que la prioridad en la zona es suplir el consumo humano por encima de otros usos. Además hicieron alusión al temor existente frente a las sanciones que puede acarrear el uso de agua para riego.

Insisten en que las lluvias son cada vez más escasas, de manera que las precipitaciones no cubren los requerimientos del cultivo de papa, sumado a esto, comentan la ocurrencia de heladas y granizadas atípicas en diferentes épocas del año (Pinilla, 2015). Esta afirmación se encuentra plasmada además en el documento de caracterización biofísica del Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT) de Carmen de Carupa (2009). En la tabla 4-16 se presenta un resumen de las fuentes de agua utilizadas.

Tabla 4-15. Fuentes hídricas utilizadas para el suministro de agua en agroecosistemas identificados en la MARU.

Práctica	Propietario (%)	Arrendatario (%)
Precipitaciones.	100	100
Cosecha de lluvia para consumo humano, animales y cultivo.	100	100
Riego	0	0
Extracción de pozo profundo o nacimiento para consumo humano.	84	4

⁴³ Sánchez *et al.* (1989) evaluaron diferentes niveles de pisoteo (0; 3.3; 6.6 y 8.3 animales/ha/año) sobre las características del suelo. El pisoteo redujo la porosidad total, teniendo mayores efectos sobre la macroporosidad, sin embargo recomienda una carga máxima de 3.3 animales/ha. Por su parte Pinzón y Amézquita (1991) sugieren para las condiciones de alta montaña un máximo de 2,5 animales/ha. La intensidad en uso del suelo como consecuencia del pisoteo, es más significativo en zonas de ladera respecto a zonas planas, afectando especialmente los primeros 15 cm de suelo (Sadeghian *et al.*, 2000).

⁴⁴ Un sector de la vereda Mortiño fue declarado parte de la Reserva Forestal y Distrito de Manejo Integrado del Páramo de Guargua y Laguna Verde. Esto generó malestar entre la comunidad, pues consideran que no fueron tenidos en cuenta en el proceso de delimitación y declaratoria (Hofstede *et al.*, 2003; Hofstede *et al.*, 2015).

Todos expresaron haber percibido una reducción drástica en las precipitaciones y en el caudal de las fuentes hídricas superficiales. Los arrendatarios, manifestaron que el riego es un costo adicional y que las lluvias suplen los requerimientos. Es por esta razón que prefieren desplazarse a nuevas áreas cada vez y establecer los cultivos en lugares cuyas condiciones agroecológicas sean favorables y la presión de plagas menor. En el caso de los propietarios, el 84% de los encuestados manifestó estar vinculado y se beneficiario de un acueducto veredal, que les suministra agua para consumo humano exclusivamente.

En ambos grupos se observa el arraigo hacia el modelo de producción de papa convencional⁴⁵, sin embargo se observaron diferencias en las prácticas de manejo de este cultivo en ambos grupos. Se percibió interés particular de los propietarios por implementar otras prácticas, pues se sienten vulnerables ante la escasez de lluvias, la degradación del suelo y los altos costos de los insumos requeridos para cultivar papa bajo el modelo convencional.

Percepciones sobre plagas.

Todos los encuestados coincidieron en la existencia de plagas en los cultivos que afectan los rendimientos, principalmente en el de papa. Todos expresaron haber utilizado plaguicidas para el control de plagas y percibido un notable el aumento de la incidencia de insectos plaga. El número de aplicaciones de insecticidas para el control de especies como la polilla guatemalteca o el gusano blanco se han incrementado significativamente, particularmente entre los arrendatarios (3-16 aplicaciones). En la tabla 4-15 se presenta un resumen de lo encontrado con respecto al manejo de plagas en el cultivo de papa.

⁴⁵ Monocultivo dependiente de insumos externos, que contempla la labranza del suelo con maquinaria pesada. Aplicación de fertilizantes químicos, manejo de arvenses con herbicida y azadón, aplicación de insecticidas y fungicidas basado en umbrales de daño económico ó calendario.

Tabla 4-16. Manejo de plagas en cultivos de papa en la MARU.

Práctica	Propietario (%)	Arrendatario (%)
Realiza manejo de malezas.	77	97
Aplicación de herbicidas.	23	86
Realiza manejo de plagas.	100	100
Ha aplicado plaguicidas.	90	96 ⁴⁶
Ha aplicado insecticidas de categoría toxicológica ¹⁴⁷ .	90	96

En ambos grupos se reporta el manejo de malezas en el cultivo de papa, sin embargo hay diferencias en cuanto al uso de herbicidas como parte de las labores del cultivo, siendo más frecuente entre los arrendatarios el uso de este tipo de productos. En el caso de los pastos, los agricultores propietarios expresaron no hacer manejo de plagas en ese cultivo.

Percepciones sobre el suelo.

Se indagó sobre los equipos e implementos utilizados en la labranza y preparación del terreno. Para el cultivo de papa, se puede decir que ambos grupos reportaron el uso de equipos de tracción mecánica, tracción animal y el uso de implementos manuales (tabla 4-17). Para la renovación de praderas se encontró que utilizan el arado de cincel y azadón.

⁴⁶ Algunos arrendatarios expresaron haber establecido parcelas para la evaluación de trampas para el control etológico de polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* Povolny) con fines académicos. Sin embargo el uso de estas trampas no fue acogido en la región.

⁴⁷ Se incluyó esta categoría debido a que hace referencia a productos catalogados como extremadamente peligrosos, en el sentido que pueden producir un daño agudo a la salud cuando se da una o múltiples exposiciones en un tiempo relativamente corto. Los agricultores reportaron haber aplicado por lo menos una vez productos insecticidas como Furadan® (Carbofuran) y Pilarmate® (Methomyl), que pertenecen a dicha categoría.

Tabla 4-17. Implementos de labranza y preparación del suelo empleados en el cultivo de papa en los agroecosistemas identificados en la MARU.

Práctica	Propietario (%)	Arrendatario (%)
Tracción mecánica.	70	100
Tracción animal.	30	0
Arado cincel.	70	100
Rotovator.	30	100
Arado de disco.	3	60
Azadón.	100	100
Surcadora.	3	70
Promedio de pases de maquinaria para labranza.	1	3

Un porcentaje significativo de los arrendatarios reporta el uso del arado de disco y del rotovator, los cuales invierten el perfil del suelo y favorecen la pérdida de humedad. Este tipo de implementos deteriora la estructura del suelo, porosidad y su capacidad de almacenar agua, por lo que no se recomienda su uso. En el caso de los propietarios, utilizan el azadón en la preparación del terreno, el levantamiento de los surcos y el aporque. En el caso de los arrendatarios, el azadón se utiliza para el aporque principalmente.

Se puede decir que los propietarios procuran realizar una labranza adecuada desde el punto de vista de los implementos que utilizan y la frecuencia. Esto se explica además, por la vinculación de este grupo de productores a proyectos que buscan precisamente la recuperación del suelo, incorporando en sus prácticas de cultivo algunas de las tecnologías que le han sido transferidas como lo es la incorporación de abonos verdes previo al establecimiento del cultivo de papa (tabla 4-18). En el caso de las praderas, se ha incentivado la diversificación con la incorporación de especies leguminosas.

Tabla 4-18. Prácticas de labranza reportadas en la MARU.

Práctica	Propietarios (%)	Arrendatarios (%)
Labranza inadecuada (perfil del suelo invertido, deterioro de la estructura, compactación).	30	97
Labranza adecuada (no se invierte el perfil del suelo, tienen en cuenta la humedad del suelo, alteración menor de la estructura del suelo).	70	3
Incorporación de abonos verdes.	70	5
Diversificación de praderas.	70	No aplica

Sobre la fertilización de los cultivos.

El cultivo de papa se caracteriza por el aporte excesivo de fertilizantes nitrogenados. Usualmente no se aplican las recomendaciones del plan de fertilización y nutrición sustentado en el análisis de suelos y los requerimientos del cultivo (MAVDT y Fedepapa, 2004; Rojas y Núñez, 2008).

En el caso de los arrendatarios, un 90% aplica dosis adecuadas a excesivas⁴⁸, mientras que un 60% de los propietarios aplican dosis deficitarias respecto a un óptimo cercano a los 140 kg/ha por ciclo de cultivo (Barrera, 1998). Los propietarios expresan que el descanso del lote es necesario, pues le permite recuperar los niveles de materia orgánica, aplicar menos fertilizante en la siguiente cosecha y diversificar sus ingresos.

La explicación más frecuente frente a las limitaciones en el aporte de fertilizantes es la dependencia de insumos externos de alto costo. Un 73 % de los propietarios expresan no disponer de recursos económicos para adquirir los insumos necesarios para el cultivo, pues los ingresos recibidos en las últimas cosechas no fueron buenos. Además explican

⁴⁸ Guiller y colaboradores, citados por Orozco (1999) indican que el cultivo de papa produce una gran cantidad de biomasa, por lo que remueve grandes cantidades de nitrógeno del suelo. Para lograr un rendimiento de 15t/ha, la extracción puede llegar a ser de 150 kg/ha, lo que sugiere la necesidad de involucrar en el modelo productivo la rotación y el descanso del suelo. Bajo el esquema de monocultivo intensivo, donde el suelo no descansa y el nitrógeno disponible se agota, además de que no es posible incluir especies vegetales fijadoras de nitrógeno, las aplicaciones de fertilizantes sintéticos aumenta. Se reportan cifras de hasta 550 kg de N aplicado por cada ha cultivada en un año (Orozco, 1999).

que algunas cosechas se perdieron, generando un impacto económico significativo. Por el contrario, un 93 % de los arrendatarios manifestaron tener recursos para mantener el cultivo de papa con el mínimo de insumos requeridos bajo un modelo de producción convencional. Algo similar ocurre con la aplicación de insecticidas y fungicidas.

Un 70 % de los propietarios manifestó haber incorporado abonos verdes antes de la siembra de papa, lo cual demuestra un interés por la búsqueda de alternativas de manejo del cultivo. Esta práctica se implementó inicialmente como parte de las acciones de transferencia del proyecto Checua-PROCAS (Birbaumer, 2000; Zamudio y León, 2008), posteriormente se implementaron algunos pilotos con recursos aportados por FUNDESOT y Asoagroalisal (CIAT, 2015; Pinilla, 2015; Rodríguez *et al.*, 2015).

Se indagó sobre el manejo de excretas, debido a que pueden aportar nitritos y nitratos al agua y al suelo cuando no son compostadas (Albert, 1997). La acumulación de nitritos y nitratos se torna problemática, cuando las fuentes hídricas contaminadas son las mismas que surten a la comunidad de agua potable. Para Colombia, el IDEAM (2014) reporta desbalances en la relación nitrógeno fósforo en las fuentes hídricas, así como altas concentraciones de nitrógeno.

Se encuentran reportes de afectación en ganado bovino por consumo de pasto “biche” debido al contenido de nitratos, derivados un mal manejo de las excretas y la fertilización nitrogenada en temporadas secas en la provincia de Ubaté (CAR y JICA, 2000). Aunque el pasto manejado por los propietarios no recibe suplementos significativos de fertilizantes de síntesis química, si recibe aportes de las excretas del ganado.

De acuerdo con Orozco (1999), un novillo puede llegar a generar cerca de 450 kg de excretas, que aportan cerca de 40 kg de nitrógeno al año. Sobre el compostaje de las excretas del ganado, un 15% de los propietarios recogen y comportan estos residuos para luego incorporarlos en las praderas, pues consideran que de esta manera aumentan la producción de materia seca. El 85% restante asegura dejar las excretas en el lote y ocasionalmente dispersarlas. Al preguntar si les preocupaba el contenido de nitritos y nitratos en el agua, solo un 6% de los propietarios encuestados expresó preocupación por este tema.

Asistencia técnica y organización.

Respecto a la asistencia técnica se encontró que los arrendatarios asumen como servicio de asistencia técnica permanente las asesorías suministradas por representantes de casas comerciales distribuidoras de insumos. Se puede suponer que las recomendaciones pueden estar suscritas al logro de una meta en ventas de productos para el manejo fitosanitario del cultivo. En el caso de los propietarios, el acceso a la asistencia técnica se suscribe a los apoyos recibidos de parte de organizaciones como FUNDESOT y Tropenbos. De ahí, que la asistencia técnica recibida por los propietarios se califique como temporal (tabla 4-19).

Tabla 4-19. Asistencia técnica agrícola en la MARU.

Práctica	Propietario (%)	Arrendatario (%)
Asistencia técnica permanente.	15	70
Asistencia técnica ocasional.	83	100
Aplica las recomendaciones técnicas para el manejo de los cultivos.	83	50

La participación de los agricultores productores en proyectos de cooperación técnica ha sido el resultado de la gestión realizada a través de las asociaciones establecidas en torno a los acueductos veredales y el cultivo de papa, como es el caso de Asoagroalisal y Corpomortiño. De igual manera, los arrendatarios expresaron recibir beneficios de Fedepapa, particularmente en el suministro de insumos y acompañamiento técnico (tabla 4-20).

Tabla 4-20. Vinculación de los agricultores a asociaciones en la MARU.

Aspecto	Propietario (%)	Arrendatario (%)
Pertenece a una asociación de productores de papa.	50	90
Ha participado de proyectos de Cooperación por lo menos una vez	100	90

En general todos los agricultores tenían conocimiento de las acciones que se adelantaron en el marco del proyecto Checua-PROCAS. Actualmente la CAR mantiene acciones de acompañamiento técnico y restauración (CAR, 2016). De igual manera se indago con los

agricultores sobre las percepciones y acciones frente a la problemática de suelos degradados y escasez de agua (tabla 4-21).

Tabla 4-21. Prácticas y percepciones asociadas al cuidado del agua en la MARU.

Práctica	Propietario (%)	Arrendatario (%)
Se interesa e implementa acciones para el cuidado de estas fuentes de agua.	66	43
Ha trabajado en la reforestación de la ronda de quebradas cercanas.	33	3
Percibe presencia institucional.	100	100
Ha considerado desistir del cultivo de papa en la MARU.	43 ⁴⁹	93
Ha considerado vender el ganado bovino existente en la finca.	40	No aplica

El agua es una limitante para los cultivos intensivos y así lo perciben ambos grupos. Los propietarios presentan una mayor preocupación y disposición para tomar medidas frente a esta problemática, haciendo referencia a su participación en actividades de reforestación, mejores prácticas de cultivo y recolección de residuos.

Un 33% de los propietarios expuso haber participado de acciones colectivas para el cuidado del agua, como por ejemplo, jornadas de reforestación de la ronda de las quebradas, siembra de árboles nativos, recolección de residuos y envases vacíos de plaguicidas.

A partir del análisis descriptivo se encontró que hay diferencias en las prácticas de manejo de los cultivos entre propietarios y arrendatarios, prácticas que afectan directa e indirectamente el consumo de agua en los cultivos. Se considera que las diferencias más importantes tienen que ver con la intensidad en las siembras de papa, la cantidad de insumos utilizados, el relacionamiento del agricultor con la finca y la preocupación por apropiar nuevas prácticas encaminadas a la protección del suelo y el agua.

⁴⁹ En el caso de los propietarios, se mantendría para autoconsumo.

4.7 Relaciones de dependencia entre aspectos culturales y la tenencia de la tierra.

Después de aplicar la prueba de Chi cuadrado a las variables categóricas tipo dummy, se evidenció la asociación o relación que existe entre las variables categóricas y la tenencia de la tierra. En las tablas 4-22 a 4-24 se presentan los resultados de interdependencia entre la tenencia del suelo y cada una de las variables categóricas que componen las dimensiones tecnología, organización y percepciones sobre el agua. Las relaciones que reportan un p_valor mayor de 0,05 son independientes de la tenencia. En el anexo A-2 se encuentran los resultados de análisis de correlación.

Tabla 4-22. Valores del estadístico Chi – cuadrado para el análisis de variables tipo dummy para la dimensión tecnología.

Variables de respuesta	Propietario		Arrendatario		Estadístico de Chi – cuadrado	Grados de Libertad	P _ valor
	Si	No	Si	No			
¿Cuenta con riego para los cultivos?	0	30	0	30	3.1579	1	0.07556 *
¿Tiene colectores para reserva de agua?	30	0	30	0	60	1	0
¿Incorpora abonos verdes?	21	9	2	28	25.4524	1	4.53E-07
¿Permite el descanso del suelo mediante el establecimiento de pastos?	30	0	0	30	20	1	7.74E-06
¿Realiza análisis físico-químico de suelos?	15	15	11	19	1.086	1	0.2974 *
¿Aplica recomendaciones del asistente técnico?	25	5	15	15	7.5	1	0.00617
¿Ha aplicado plaguicidas de síntesis química?	27	3	29	1	1.0714	1	0.3006 *
¿Ha utilizado herbicidas?	6	24	26	4	26.7857	1	4.37E-05
¿Ha aplicado plaguicidas de categoría toxicológica 1?	8	22	28	2	27.77	1	1.36E-07

Continúa tabla 4 22. Valores del estadístico Chi – cuadrado para el análisis de variables tipo dummy para la dimensión tecnología.

Variables de respuesta	Propietario		Arrendatario		Estadístico de Chi – cuadrado	Grados de Libertad	P _ valor
	Si	No	Si	No			
¿Realiza una labranza y preparación del terreno adecuada para las condiciones locales?	21	9	1	29	28.7081	1	8.42E-08
¿Ha implementado labranza de conservación	23	7	5	28	21.69	1	3.19E-06
¿Procura cubrir el suelo siempre?	22	8	0	30	34.7368	1	3.77E-09
¿Siempre asiste a capacitaciones relacionadas con el manejo del suelo y el agua?	4	26	5	25	0.1307	1	0.7177 *
¿Ha establecido árboles en la finca para diversificar conectores internos y externos?	28	2	1	29	48.6541	1	3.05E-12
¿Implementa estrategias de control de malezas?	20	10	29	1	9.0167	1	0.00267
¿Ha aplicado fertilizantes químicos de acuerdo con los requerimientos del cultivo?	25	5	15	15	7.5	1	0.00617

Se encontró que las variables aplicación de riego, practica del análisis físico químico de suelos, aplicación de plaguicidas en general y asistencia a capacitaciones no tienen una relación de dependencia con la tenencia. Se observan tendencias similares entre ambos grupos.

Aunque se reportaron diferencias en cuanto a la asistencia técnica, se incluyó en este análisis la adopción de recomendaciones técnicas, pues se observó que en ambos grupos la asistencia técnica difiere en la frecuencia del servicio.

Se encuentran tendencias diferentes entre los grupos frente al manejo del suelo, particularmente la labranza, incorporación de abonos verdes, descanso, cubrimiento y fertilización.

Tabla 4-23. Valores del estadístico Chi – cuadrado para el análisis de variables tipo dummy para la dimensión organización.

Variables de respuesta	Propietario		Arrendatario		Estadístico de Chi – cuadrado	Grados de Libertad	P_ valor
	Si	No	Si	No			
¿El propietario o arrendatario es del género femenino?	6	24	0	30	4.63	1	0.0314
¿Pertenece a una asociación de productores de papa?	15	15	27	3	11.4286	1	0.0007232
¿Dispone de recursos económicos?	8	22	28	2	27.7778	1	1.36E-07
¿Algún integrante de la familia se emplea fuera de la finca?	8	22	14	16	2.5837	1	0.108
¿Ha participado de acciones colectivas de reforestación en la zona?	10	20	1	29	9.0167	1	0.002675
¿Pertenece y se beneficia de un acueducto veredal?	25	5	1	29	39.095	1	4.04E-10
¿Vive junto con la familia en la finca?	30	0	0	30	60	1	0.00E+00

No se encontró una relación de dependencia entre la tenencia y el que algún miembro de la familia del agricultor se dedique a actividades externas a la finca. En ambos grupos se observó una tendencia similar, por lo tanto este aspecto no los diferencia.

Tabla 4-24. Valores del estadístico Chi – cuadrado para el análisis de variables tipo dummy para la dimensión percepciones sobre el agua.

Variables de respuesta	Propietario		Arrendatario		Estadístico de Chi – cuadrado	Grados de Libertad	P_ valor
	Si	No	Si	No			
¿Cuenta con Fuentes hídricas cercanas?	28	2	12	18	19.2	1	1.18E-05
¿Se interesa e implementa acciones para el cuidado de estas fuentes de agua?	20	10	13	17	3.2997	1	0.06929 *
¿Ha realizado reforestación de rondas hídricas?	10	20	1	29	9.0167	1	0.002675
¿Abandona el cultivo de papa por escasez de agua?	13	17	28	2	17.32	1	3.142 e ⁻⁰⁵
¿Ha establecido coberturas sólo para mantener la humedad del suelo?	22	8	0	30	34.7368	1	3.77E-09
¿Percibe y es sensible a los cambios en fuentes hídricas cercanas?	26	4	0	30	45.8824	1	1.26E-11
¿Se interesa por los contenidos de nitritos y nitratos en el agua?	2	28	0	30	2.069	1	0.1503 *
¿Ha vendido el ganado por escasez de agua?	12	18	15	15	0.6061	1	0.4363 *

En la pregunta sobre su interés y participación en el cuidado de fuentes hídricas cercanas no hubo una dependencia directa con la tenencia, sin embargo al preguntar por acciones puntuales como la reforestación o el mantenimiento de la cobertura del suelo, si hay diferencias entre los grupos.

Esto mismo ocurre con la sensibilidad frente a la reducción del caudal de las fuentes hídricas. Los propietarios se mostraron más sensibles frente a este tema.

Ante la pregunta sobre el desistimiento en la siembra de papa ante la escasez de lluvias, ambos grupos reportan respuestas afirmativas, sin embargo tienen implicaciones

diferentes. En el caso de los propietarios, expresaron no mantener siembras para comercializar pero sí para autoconsumo. Los arrendatarios desisten de las siembras en la MARU, para desplazarse a nuevas áreas.

La mayoría de encuestados no reporto hacer análisis de aguas en finca, ni mostraron interés en el contenido de nitritos y nitratos en el agua, por lo que estas variables no marcan diferencias entre los grupos.

En ambos grupos coincidieron en expresar que ante la escasez de agua y alimento en la finca, lo mejor es no mantener ganado en la finca, pues resulta costoso adquirir alimentos tales como el concentrado.

4.8 Análisis de correspondencia múltiple entre aspectos culturales respecto a la tenencia de la tierra.

Para cada dimensión cultural se realizó el análisis de correspondencia entre las variables categóricas, haciendo énfasis en las diferencias entre las prácticas que definen el manejo del agua entre propietarios y arrendatarios. En las figuras 4-10 a 4-12 se presenta gráficamente las relaciones de interdependencia entre las variables categóricas y la tenencia de la tierra para cada grupo de aspectos culturales, que sirven para caracterizar el grupo de propietarios y arrendatarios.

Dimensión Tecnología.

El análisis de suelos es realizado tanto por propietarios como arrendatarios. En el caso de los arrendatarios, expresaron que uno de los beneficios de estar asociados a Fedepapa es el apoyo en la realización de análisis de suelos, sin embargo la frecuencia con la que se realiza es muy variable y no necesariamente se realiza al cultivar un lote nuevo. Algunos manifestaron que realizaban el análisis cada dos años (40%) mientras que un 60% manifestó haber realizado análisis de suelos más no hizo claridad sobre la frecuencia⁵⁰.

⁵⁰ Lo ideal es realizarlo anualmente.

En el caso de los propietarios, manifestaron que para el periodo de análisis realizaron análisis de suelos en la vereda con recursos de proyectos suscritos con entidades públicas y privadas, pues no cuentan con recursos propios para hacerlos. La gestión para lograr dichos proyectos de cooperación se hizo a través de la asociación a la cual pertenecen, de manera que la gestión hecha por los agricultores fue el factor decisivo para que en este periodo realizaran dichos análisis más que la disponibilidad de recursos económicos.

Sobre la implementación de las recomendaciones para la fertilización basadas en el análisis de suelos, se encuentra que los propietarios tienen un bajo relacionamiento con esta variable categórica, pues nuevamente se encuentra el condicionamiento económico. Comparando la aplicación de fertilizantes respecto a las recomendaciones técnicas nutricionales, se encuentra que hacen aplicaciones deficientes.

En el caso de los arrendatarios, tampoco acogen las recomendaciones. Se encuentra un exceso en la aplicación de fertilizantes nitrogenados y gallinaza. Sustentan esta decisión en su experiencia, aplicar en exceso les permite garantizar mejores rendimientos y superar las limitaciones en la asimilación por parte de las plantas. Aunque la investigación se concentró en los aportes de nitrógeno a los cultivos, se observó que las aplicaciones de fósforo en cultivos manejados por arrendatarios también exceden la recomendación técnica.

Respecto a la aplicación de plaguicidas de categoría toxicológica 1, se encontró que tanto propietarios como arrendatarios contemplan la aplicación de plaguicidas de esta categoría en su programa de manejo del cultivo. Se percibió que en general tienen establecidas épocas de mayor susceptibilidad. Sumado a lo anterior, manifiestan que debido a la escasez de lluvias y las altas temperaturas registradas en los últimos años, la incidencia de insectos plaga como la polilla guatemalteca (*Tecia solanivora* Povolny) y el gusano blanco de la papa (*Premnotrypes vorax* (Hustache) se ha incrementado en todas las zonas de producción, por lo que las aplicaciones de insecticidas son cada vez más frecuentes (3-16 aplicaciones).

Los propietarios realizan una menor cantidad de aplicaciones de insecticidas de categoría toxicológica 1 (0-6 aplicaciones) debido a que no cuentan con recursos para la compra de insumos, pues de tener disponibilidad, comprarían los productos, informan que estas

plagas generan pérdidas significativas en el cultivo. Llama la atención el uso de trampas con feromonas para el control de polilla guatemalteca en dos de las cincas del grupo de propietarios.

En el caso de los arrendatarios, manifiestan que estas plagas limitan los rendimientos, por lo que prácticamente las realizan calendario. En la figura 4-10 se observa que hay una dependencia entre la aplicación de insecticidas de categoría toxicológica 1 con la renta de la tierra para sembrar papa. En el caso de los propietarios, realizan menos aplicaciones.

En cuanto a la asistencia técnica, se encontró que los arrendatarios pertenecientes a una asociación reciben asistencia técnica permanente, que tiene implícito un componente comercial. Consideran una ventaja el apoyo técnico y comercial, usualmente el asistente técnico formula y distribuye los productos requeridos en la fertilización y manejo fitosanitario.

A diferencia de esta situación, el grupo de propietarios cuenta con asistencia técnica ocasional, en el marco de los convenios que suscriben instituciones públicas, privadas y ONG. Se encuentra implícita en esta asistencia técnica esporádica, un fuerte apoyo en la innovación orientada a replantear el paquete tecnológico actual, pues está enfocada en la diversificación de la finca y la conservación del suelo. Entre las ventajas percibidas por los agricultores esta la renovación de praderas, la capacitación en ensilaje, el manejo de los suelos y la producción de semilla certificada.

En cuanto al interés por mantener cubierto el suelo y las prácticas de labranza, se encuentra una clara diferencia entre propietarios y arrendatarios. Los propietarios siempre procuran mantener el suelo cubierto, mientras que para el arrendatario no es importante.

El mantener el suelo descubierto favorece la pérdida de humedad por evaporación, sumado a esto las prácticas inadecuadas de labranza afectan la capacidad de almacenamiento de agua verde y pueden favorecer la escorrentía por la compactación.

En el caso de los arrendatarios el uso de este implemento es común, pues manifiestan encontrar ventajas a la hora de sembrar. Además realizan pases con otros arados como el de disco y cincel. Lo mismo ocurre con el descanso del suelo, para el propietario los

rendimientos en futuras cosechas dependen del descanso del suelo y la cantidad de materia orgánica que pueda contener, mientras que el arrendatario es indiferente, pues tiene la posibilidad de suplir los requerimientos del cultivo con fertilización química.

En la figura 4-10 se presentan un diagrama con las tendencias observadas y que caracterizan cada grupo, evidenciando las diferencias encontradas en cada uno.

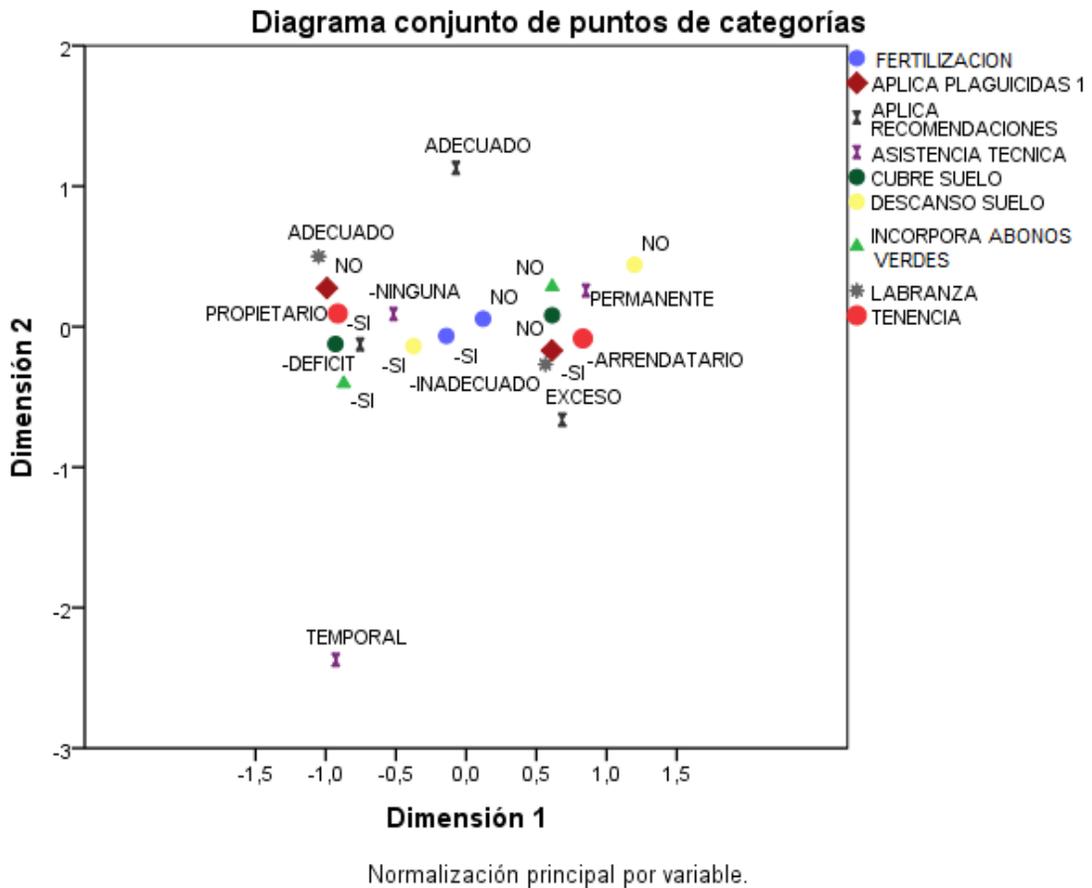


Figura 4-10. "Análisis de correspondencia múltiple de variables categóricas dependientes de la tenencia de la tierra en el componente cultural tecnología".

Dimensión organización.

En el caso de la organización las relaciones de interdependencia son presentadas en la figura 4-11. Se indagó sobre la pertenencia a asociaciones, en este aspecto los arrendatarios ven en la agremiación una oportunidad para fortalecer su negocio. Así mismo es marcado su relacionamiento con la disponibilidad de recursos económicos y financieros para invertir en el cultivo de papa.

Para los propietarios, el pertenecer a la asociación les ha permitido tomar conciencia de los efectos de las malas prácticas de cultivo sobre el suelo y el agua, participar de acciones colectivas para la conservación del territorio y acceder a prácticas innovadoras para implementar en la finca. El acceso de este grupo al crédito y su disponibilidad de recursos económicos es muy limitado.

En cuanto a la participación en jornadas de reforestación, es marcada la dependencia entre los arrendatarios y su actitud omisiva frente a esta actividad. En el caso de los propietarios no hay una interdependencia marcada con la reforestación, pues aunque han hecho esfuerzos para establecer especies arbustivas y arbóreas en sus fincas, linderos y quebradas, el establecimiento se ha visto limitado por la falta de agua y las heladas.

Se observó una mayor sensibilidad e interés entre los agricultores propietarios respecto a los efectos del cambio climático en lo local. Se consideran vulnerables ante eventos de sequías.

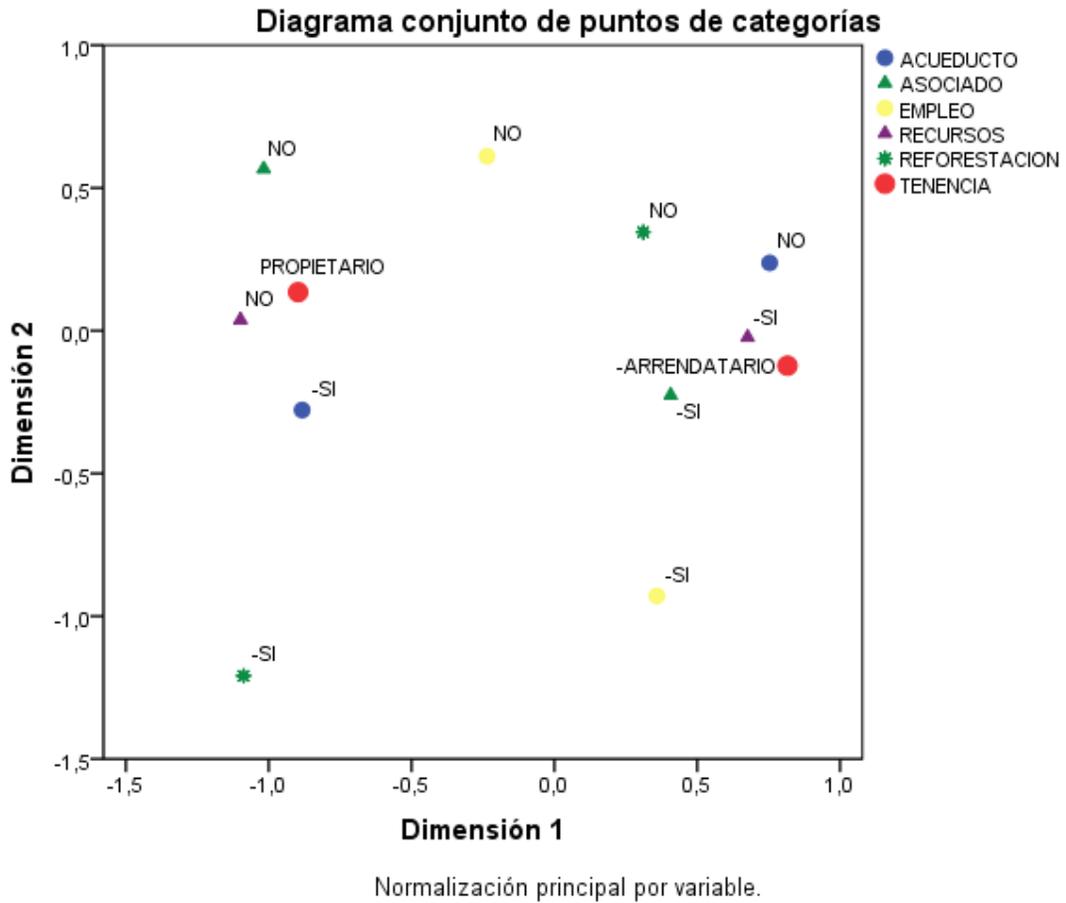


Figura 4-11. “Análisis de correspondencia múltiple de variables categóricas dependientes de la tenencia de la tierra en el componente cultural organización”.

Dimensión percepciones sobre el agua.

En el caso de las percepciones de los agricultores sobre el agua y las relaciones de interdependencia presentadas en la figura 4-12, es claro que los propietarios consideran cambiar sus actuales prácticas de cultivo y de manejo de finca pensando en la conservación del suelo, el agua y la posibilidad de poder vivir en su territorio.

Aunque cerca del 43% manifestó su interés por abandonar el cultivo de papa, el 100% desea continuar viviendo en la vereda. Se observó una interdependencia con su interés permanecer en la MARU con cultivos de subsistencia no intensivos.

Dicho interés se expresa en la participación de las jornadas de reforestación e implementación de recomendaciones para el cuidado del suelo y el agua. Particularmente los productores se ocupan de cuidar las fuentes hídricas superficiales, a pesar de no tener caudal. Son los propietarios quienes aportaron más información sobre los cambios observados en las fuentes hídricas y comentarios reflexivos respecto a los cambios, las posibles causas y las posibilidades para subsistir en la MARU en armonía con la naturaleza⁵¹.

Los arrendatarios reportaron varias fuentes de ingreso, producto de las siembras de papa y la comercialización. En el caso de los propietarios, su sustento depende de la finca. En algunos casos, sus hijos e hijas aportan algo de dinero gracias a que se emplean en actividades por fuera de la finca.

Los agricultores propietarios se proyectan en el mediano y largo plazo en su finca, no quieren abandonar su territorio a pesar de las limitaciones que tienen actualmente. En cuanto a la disponibilidad de recursos económicos, los arrendatarios expresaron disponer de dinero para la compra de insumos, así como para arrendar lotes cuando es necesario. Por su parte los propietarios expresaron no tener recursos económicos para invertir en la finca y no tener acceso a crédito.

⁵¹ Particularmente la Señora Erlinda Arévalo (2015), propietario de la finca Arenal la Falda en la vereda El Alisal expreso su preocupación sobre la problemática y describió los cambios que observó en las quebradas Alisal, Moncadas y Chubersia en su vereda. Manifestó que en la vereda, tanto los cultivos de cebada como los de papa generaban excelentes ingresos y rentabilidad. Expreso que para la década de los 70, 80 y 90 las quebradas mantenían el caudal suficiente como para abastecer las necesidades de todos en la vereda, sin embargo, en los últimos 20 años, observó cambios drásticos no solo en las quebradas, también en el clima. Según Ella, gracias a las capacitaciones recibidas, comprende que hay un cambio a nivel global que tóca su vereda, siendo más vulnerables por el mal manejo que en el pasado hicieron del agua. Manifiesta que la estacionalidad de las lluvias ha cambiado y que las épocas de déficit hídrico se han acentuado en duración e intensidad.

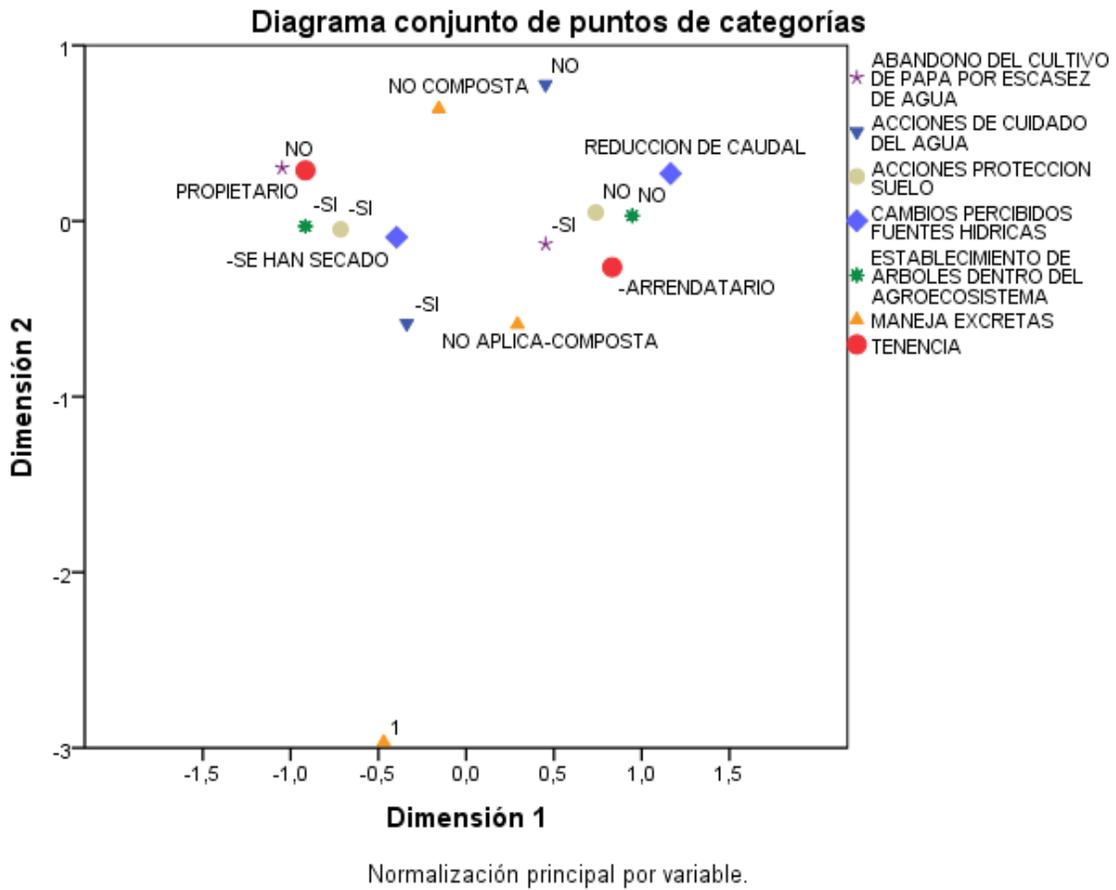


Figura 4-12. Análisis de correspondencia múltiple de variables categóricas dependientes de la tenencia de la tierra en el componente cultural “percepciones sobre el agua”.

4.9 Valoración de la EAP en agroecosistemas del grupo de propietarios.

En la tabla 4-25 se presentan los resultados de la cuantificación de la EAP para las 30 fincas cuyos cultivos son manejados por sus propietarios.

Tabla 4-25. Valores calculados para cada uno de los atributos que integran la EAP en fincas manejadas por propietarios en la MARU.

FINCA	AAM	ECE	DCE	ECI	DCI	UCS	MA	OP	PC	NCA	EAP
Los Pinos	5	3	3	6	5	5	7	5	5	4	48
El Cerezo	5	4	3	5	5	5	7	6	6	4	50
El Cuadro	5	2	3	4	5	6	7	6	6	6	50
Copacabana	7	5	5	5	5	4	7	6	7	7	58
El Recuerdo	5	6	3	5	4	4	1	4	4	4	40
Lote 1	5	4	3	5	4	4	1	4	5	4	39
Arenal La Falda	6	4	3	3	4	5	7	5	7	4	48
Solar	4	0	0	0	0	1	1	1	5	3	15
El Tablón	6	5	4	3	4	5	7	5	6	4	49
Los Pinos 2	6	5	5	3	4	6	7	7	7	5	55
La Toma	6	4	5	3	4	6	7	7	7	5	54
Pozo Azul	6	5	4	2	2	6	1	4	5	5	40
El Alisal	4	1	2	2	4	5	5	1	5	5	34
El Ciro	4	4	2	2	4	6	7	6	6	5	46
El Pantano	6	4	5	5	5	6	7	6	6	5	55
El Rectángulo	5	4	5	4	5	6	7	6	6	5	53
El Recuerdo 2	5	5	5	5	5	6	7	6	6	5	55
El Recuerdo 3	5	6	5	4	5	5	1	4	5	5	45
La Esperanza	5	4	5	2	4	6	7	6	6	5	50
Siberia	5	4	2	2	4	4	7	5	5	5	43
Loma de Plata	6	3	5	3	4	6	7	7	6	5	52
La Pluma	6	3	5	6	5	6	7	6	6	5	55
Manzanares	5	4	4	6	5	4	1	5	5	4	43
San Miguel	5	4	3	3	3	4	1	4	5	5	37
La Huerta	6	4	3	3	4	6	7	7	6	5	51
El Mirador	6	4	3	4	5	6	7	7	7	5	54
La Loma-Los Pinos	7	5	3	6	4	6	7	6	7	7	58
El Zipacón	6	4	3	2	4	6	7	6	6	5	49
La Rastra	6	3	3	6	3	5	7	5	5	5	48
La Esperanza	7	4	5	3	4	6	7	7	7	7	57
Promedio	5,5	3,9	3,6	3,7	4,1	5,2	5,5	5,3	5,8	4,9	47,7

En general son fincas que no están conectadas con la Estructura Ecológica Principal (EEP) de la MARU. Conceptualmente se estableció un valor ponderado mayor para los casos en que el agricultor participó de acciones colectivas para la reforestación y cuidado de fuentes hídricas superficiales cercanas.

Como se observa en la figura 4-x, la calidad de la matriz agropecuaria no es buena (en el anexo A-3 se encuentran las imágenes de las 30 fincas evaluadas). Los propietarios conocen la problemática ambiental de la micro cuenca y han empezado a vincularse mediante la participación en proyectos para diversificar sus fincas⁵² y adoptar mejores prácticas de cultivo (figura 4-13).

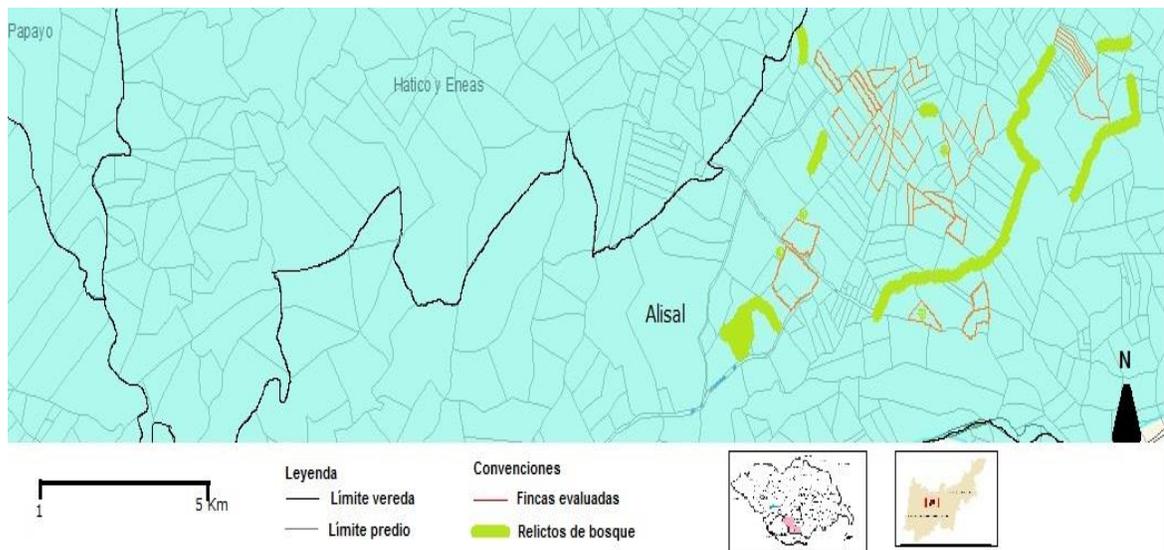


Figura 4-13. Distribución predial de lotes analizados en la vereda Alisal en Carmen de Carupa con respecto a los relictos de bosque existentes. Elaborado a partir de imágenes e información catastral del IGAC (2009; 2010).

Los conectores internos de la finca son casi inexistentes y mucho menos diversificados, lo cual se observa en las imágenes incluidas por cada finca. Sin embargo se consideró en la valoración el que en los últimos tres años, algunos agricultores han sido beneficiarios y partícipes de proyectos de cooperación, en los que se tenía previsto el establecimiento de cercas vivas y sistemas silvopastoriles en finca. Debido a las heladas atípicas que

⁵² Siembra de aliso (*Alnus glutinosa*), amarguero (*Ageratina asclepiadea*), carrizo (*Chusquea tessellata*), mano de oso (*Oreopanax floribundum*) y espino (*Barnadesia spinosa*).

ocurrieron en el mismo periodo, la escasez de lluvias y en algunos casos la falta de mantenimiento de las plantas no ha permitido su adecuado establecimiento.

El suelo ha sido sobre utilizado, puesto que allí se han establecido cultivos intensivos de cebada y papa. Para el periodo de análisis los agricultores expresaron que la siembra de papa se ha reducido significativamente y en su lugar han establecido pastos. Frente a los usos recomendados para los suelos existentes en la MARU, hay coherencia en las prácticas que actualmente se utilizan, ha desincentivado el cultivo de la papa, algunos expresan su preocupación por el deterioro ambiental, sin embargo el paquete tecnológico es muy similar al de los arrendatarios. Valdría la pena analizar sobre cuál de estas motivaciones pesa más en este grupo de agricultores. Tal vez se debe considerar la tecnología transferida a los agricultores, siempre enfocado en un modelo convencional.

De acuerdo con lo reportado por Pinilla (2015) y Rodríguez *et al.* (2015), es posible que solo hasta sufrir una sequía intensa como la que reportan, se tomo conciencia sobre los efectos de las prácticas de cultivo. Allí se hace alusión a la implementación de abonos verdes en la vereda. En principio hubo poca receptividad, sólo hasta cuando uno de los agricultores decidió implementar el modelo y obtener buenos resultados, la innovadora propuesta fue considerada por el resto de la comunidad.

Las fincas cuyos cultivos son manejados por sus propietarios en la MARU reportaron una calificación promedio de 47,7. De acuerdo con la escala de interpretación planteada por León (2014) para un rango de 40 a 60, la estructura agroecológica principal de las fincas es ligera a débil, un 13% de las fincas analizadas reportan una puntuación por debajo de 40 y un 3% presentó una calificación por debajo de 20.

Esto obedece a que en las fincas predomina el monocultivo (papa o pasto), no existen conectores ni cercas vivas y persiste el manejo convencional (revolución verde) de los cultivos. Si bien existe un esfuerzo por establecer cercas vivas, no se han logrado establecer los conectores en las fincas.

Para el caso de los arrendatarios se puede decir que la EAP no tiene estructura.

4.10 Estimación de la huella hídrica.

Estimación del consumo de agua del cultivo (CWU_{cultivo}).

En la MARU se encuentra que los requerimientos de agua de los cultivos para lograr un rendimiento óptimo no son cubiertos con la precipitación efectiva reportada para la MARU en periodo comprendido entre 2009 y 2014.

Se encuentra que la precipitación efectiva no es suficiente para suplir los requerimientos del cultivo, lo que en parte podría explicar los bajos rendimientos del cultivo de papa y pastos (tabla 4-26).

Tabla 4-26. Precipitación efectiva anual (mm) estimada a partir de los datos aportados por las estaciones seleccionadas.

Estación	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Promedio
Nazaret	13,3	29,3	42	16,8	21,4	18,3	23,51
Hato	8,3	28,7	32,9	25,9	24,7	17,5	23
Novillero	15,1	33,2	40,3	21,9	27,4	19,2	26,1

Se encontró que el requerimiento hídrico promedio por ciclo de cultivo de papa para el periodo de análisis fue de 237 mm por ciclo para el cultivo de papa y de 157 para el cultivo de pasto, por lo tanto la precipitación efectiva reportada cubre menos del 5% de las necesidades del cultivo. Esto indica que los cultivos están sufriendo estrés hídrico todo el año y la necesidad de suplementar con agua de riego⁵³.

Es posible que el estrés hídrico al que están sometidos los cultivos sea uno de los motivos por los cuales el rendimiento de los cultivos es bajo⁵⁴ (Shaxson y Barber, 2005). Al respecto Castro (1990) estableció que hay un efecto del riego y el agua disponible en el suelo sobre

⁵³ Al respecto, Marcela Pinilla (comunicación personal, 2015) indicó que para el año 2010, hace un pozo para la extracción para riego podría costar cerca de 30 millones de pesos, sin incluir los costos de la conducción del agua, el mantenimiento y la gestión de la concesión.

⁵⁴ Otros factores como la fertilización, la incidencia de plagas y las condiciones físico químicas del suelo (Allen *et al.*, 2006b).

el rendimiento del cultivo de papa. La etapa crítica donde el cultivo alcanza la tasa máxima de transpiración ocurre durante la floración, a partir de esta etapa la evapotranspiración empieza a decrecer significativamente. Reporta además que para alcanzar un rendimiento máximo de 32,1 t/ha de papa, fue necesario garantizar un aporte total de agua de 373,3 mm a los largo del ciclo del cultivo.

Hay incertidumbre por cuanto la humedad disponible en el suelo debe considerarse, es así como el autor indica que la fracción de agotamiento de la humedad del suelo aprovechable entre el 50 y el 70% debe ser analizada más a fondo.

En el caso de pasto kikuyo, Peña *et al.* (2010) estimaron que su requerimiento anual de agua es de 798,2 mm bajo condiciones de pastoreo intensivo y suministro permanente de riego (243,9 mm en un suelo arenoso, de 117,1 en un suelo franco y de 276 en un suelo arcilloso). Indican que a pesar de ser tolerante a la sequía, sus rendimientos pueden decaer cuando la humedad del suelo disponible no satisface sus necesidades.

Estimación de la huella hídrica.

Se encontró un valor promedio por ciclo para el cultivo de papa manejado por arrendatarios de 430,2 m³/t, mientras que para propietarios se estimó un valor de 422,75 m³/t. Para el cultivo de pasto se reportó un valor promedio por ciclo de 103,35 m³/t.

En la tabla 4-27 se reportan los resultados obtenidos por ciclo de cultivo para cada uno de los grupos y en el anexo B se presentan los resultados por componente de la huella.

En la tabla 4-27 se presentan los valores estimados de huella hídrica por ciclo de cultivo para cada grupo de agroecosistemas. Se diferencian los resultados por cada una de las tres estaciones consideradas en el análisis.

Tabla 4-27. Valores estimados por ciclo de cultivo para cada uno de los grupos identificados, diferenciando las áreas de influencia de las estaciones hidro meteorológicas utilizadas.

Grupo	Valores estimado de huella hídrica en m ³ /t												Área de influencia
	2009-1	2009-2	2010-1	2010-2	2011-1	2011-2	2012-1	2012-2	2013-1	2013-2	2014-1	2014-2	
Propietario	349,0	97,5	105,0	101,5	390,9	84,0	404,4	110,4	446,0	93,2	96,0	89,0	Estación Novillero
Arrendatario	395,3	380,2	441,3	381,9	419,6	399,4	427,6	416,8	451,9	430,6	412,6	428,8	
Propietario	460,4	111,4	100,2	115,9	400,7	87,8	406,5	104,7	468,7	107,7	83,9	125,3	Estación El Hato
Arrendatario	460,0	409,9	453,0	408,7	425,4	411,3	428,0	418,1	465,0	491,0	423,3	475,9	
Propietario	445,5	138,6	97,9	106,8	406,5	93,4	420,1	113,6	468,5	104,8	94,0	118,3	Estación Nazaret
Arrendatario	451,6	391,7	450,8	378,4	428,8	428,6	436,8	421,2	465,0	467,1	444,9	468,2	
Promedio propietario	418,3	115,8	101,0	108,0	399,4	88,4	410,3	109,5	461,1	101,9	91,3	110,9	
Promedio arrendatario	435,6	393,9	448,4	389,7	424,6	413,1	430,8	418,7	460,6	462,9	426,9	457,6	Promedio MARU

Cultivo papa	
Cultivo pasto	

A continuación se detalla el análisis por cultivo para cada grupo de agroecosistemas. Se encontró que el hecho de alternar el cultivo de papa con el de pasto frente a la siembra intensiva de papa genera diferencias en los resultados.

Cultivo de papa

Al analizar los resultados por cada ciclo de cultivo de papa, se encuentra que los valores de huella hídrica verde para propietarios es similar a los obtenidos para los de arrendatarios, debido a que el consumo de agua verde (CWU_{verde}) es el mismo para ambos grupos si se siembra el cultivo en la misma época (ver anexo B). Se encuentran algunos casos en los que la huella hídrica verde es mayor para los propietarios y esto se debe a los bajos rendimientos del cultivo de papa reportado por los propietarios con respecto a los arrendatarios (7 frente a 12 t/ha respectivamente).

Es discutible este resultado, pues aunque ambos grupos manejan prácticas similares, los propietarios han empezado a trabajar con labranza mínima y de conservación, incorporar abonos verdes y establecer conectores en la finca. Este es un aspecto que el método no contempla.

El valor de huella hídrica gris de los arrendatarios supera significativamente el valor obtenido con respecto a los propietarios, debido a las diferencias en la cantidad de fertilizantes nitrogenados que aplica en promedio cada grupo (ver anexo B).

Las diferencias en valor de la huella hídrica gris pueden estar asociadas a que los arrendatarios, al disponer de recursos financieros, tienen la posibilidad de aportar más nitrógeno a sus cultivos. Como se observó en el análisis de correspondencia, la tendencia en el grupo arrendatarios es la aplicación de fertilizante nitrogenado en las categorías adecuado a excesivo (tabla 4-28).

Tabla 4-28. Cifras promedio por ciclo de cultivo.

No	Propietarios					Arrendatarios			
	kg de N/ciclo papa ⁵⁵	kg de N/ciclo pasto promedio	de área m ²	Rto. papa t/ha ⁵⁶	Rto. pastos t/ha ⁵⁷	kg de papa promedio	N/ ciclo área m ²	Rto papa t/ha	
1	50	30	6.400	6	20	250	1.200	10	
2	150	0	7.000	12	20	250	10.000	0	
3	0	0	6.400	5	20	300	40.000	7	
4	150	40	10.000	27	20	300	55.000	11	
5	150	45	10.000	4	20	300	35.000	11	
6	150	70	6.400	20	20	300	1.000	2	
7	150	30	20.000	25	20	300	6.000	10	
8	150	0	1.200	12	20	300	1.500	12	
9	25	0	10.000	2	20	400	3.600	17	
10	150	80	10.000	9	20	350	8.000	13	
11	150	90	6.400	6	20	300	12.000	9	
12	150	25	19.200	5	20	400	3.000	16	
13	150	45	9.600	8	20	450	2.300	18	
14	50	50	3.800	5	20	300	10.000	7	
15	0	30	7.000	0	20	650	9.000	21	
16	25	80	6.400	2	20	250	3.000	18	
17	50	40	10.000	4	20	350	8.000	19	
18	0	0	6.000	2	20	400	16.000	21	
19	50	45	10.000	4	20	200	60.000	16	
20	50	50	5.000	4	20	200	10.000	8	
21	200	75	3.200	12	20	100	4.000	6	
22	0	70	10.000	0	20	150	6.400	8	
23	50	30	16.700	5	20	500	3.000	21	
24	200	90	3.000	18	20	350	33.000	8	
25	0	30	6.400	0	20	300	40.000	9	
26	50	90	3.000	4	20	300	6.400	12	
27	0	25	30.000	0	20	250	5.000	14	
28	25	25	10.000	5	20	200	32.000	11	
29	25	30	6.400	4	20	150	6.400	14	
30	0	50	6.400	0	20	150	10.000	12	
Prom	78,3	42,1	8.863	7	20	300	14.693	12	

⁵⁵ El plan de manejo de la fertilización sería similar, sin embargo los propietarios expresaron tener serias limitaciones para la compra de fertilizantes. En su lugar procuran permitir el descanso del suelo, incorporar abonos verdes para mejorar el contenido de materia orgánica en el suelo de la finca.

⁵⁶ Reportan para la variedad pastusa suprema un rendimiento cercano a las 40 t/ha bajo condiciones óptimas de manejo Rojas y Núñez, 2008; Santos *et al.*, 2005; Segura *et al.* 2006).

⁵⁷ Estimado con los agricultores, se reporta el mismo valor para todos pues las prácticas de manejo son iguales. El valor estimado es cercano al reportado por Correa *et al.*(2008), quien reportó rendimientos de más de 18 kg de materia seca en la región andina.

Es importante analizar como la escasez de agua puede tener efectos en la respuesta del cultivo a la aplicación de fertilizantes. Al respecto se reporta que la fertilización nitrogenada casi siempre genera una respuesta óptima bajo un régimen de humedad favorable; una respuesta negativa bajo condiciones de sequía aun aplicando una misma dosis⁵⁸. Esto constituye una limitante para los cultivos que dependen únicamente de las lluvias, pues ante la incertidumbre en la estacionalidad de las lluvias, los agricultores⁵⁹ no pueden establecer con claridad la cantidad de fertilizante a aplicar (Shaxson y Barber, 2005).

Cultivo de pasto.

En las tablas 4-27 y 4-28 se observa que la huella hídrica del cultivo de pasto representa en proporción el 50% del valor de la huella estimada para papa. Se puede decir que el establecer pasto es un mecanismo para el descanso del suelo frente a la extracción de nutrientes como el nitrógeno y a la extracción de humedad disponible. Teniendo en cuenta que los propietarios reportaron una carga de 2,5 bovinos por hectárea y los aportes estimados de nitrógeno, esta práctica es favorable para la protección del suelo respecto al modelo de siembra intensiva de papa.

Las condiciones mejorarían si las prácticas que vienen siendo conocidas y adoptadas por algunos agricultores se mantienen. La diversificación de las praderas, la ampliación de las huertas para autoconsumo, la diversificación de especies vegetales en conectores internos y externos así como de modelos de producción silvopastoriles.

El pasto kikuyo es una especie exótica introducida, y la tendencia observada en la MARU va enfocada hacia su establecimiento como monocultivo con algunas iniciativas de diversificación.

⁵⁸ Como ejemplo, cuando hay agua disponible en el suelo la dosis óptima para un cultivo es de 40 Kg/ha de nitrógeno, sin embargo cuando el suelo se encuentra en punto de marchitez permanente, la dosis óptima para el mismo cultivo será de 20 kg/ha (Shaxson y Barber, 2005).

⁵⁹ La Señora Dora Carmenza Arévalo (2015) expresó que si bien habían establecido plántulas de especies nativas para diversificar sus fincas, las heladas atípicas que se presentaron a lo largo de 2014 y 2015 no permitieron su establecimiento. Algo similar narró en torno al proceso de renovación de praderas y el establecimiento de especies leguminosas, donde se aplicaron fertilizantes nitrogenados asumiendo que en abril llegarían las lluvias: las lluvias no llegaron y el fertilizante aplicado marchitó el carretón y el pasto. Esto evidencia cómo la incertidumbre en las lluvias incide en los resultados de las decisiones que solían basarse en la estacionalidad de las lluvias.

Cultivo de papa – pasto.

Si se analiza el valor de cada sistema productivo al año (tabla 4-29) y considerando la práctica de alternar el cultivo de papa y pastos de los propietarios, se encuentran diferencias con respecto a los arrendatarios. La huella hídrica es menor en los arrendatarios.

Tabla 4-29. Valores estimados de huella hídrica (m^3/t) para los agroecosistemas identificados.

Manejo	Componente	2009	2010	2011	2012	2013	2014	Promedio
Propietario	HH _{verde}	401,6	144,1	367,8	399,9	443,0	162,2	319,8
	HH _{gris}	132,5	65,0	120,0	120,0	120,0	40,0	99,6
	HH	534,1	209,1	487,8	519,9	563,0	202,2	419,4
Arrendatario	HH _{verde}	371,3	379,7	379,4	391,2	423,5	426,3	395,2
	HH _{gris}	458,3	458,3	458,3	458,3	500,0	458,3	465,3
	HH	829,6	838,0	837,7	849,5	923,5	884,6	860,5

Para el caso de los propietarios, el componente que aporta el mayor porcentaje de la huella hídrica es el componente verde. En el caso de los arrendatarios es el componente gris, a la vez es uno de los factores diferenciales entre los grupos. Como ya se mencionó, obedece a las prácticas de fertilización.

En ambos casos los cultivos están sometidos a déficit hídrico y en teoría requieren del aporte de agua de riego. Si en la MARU se tomara la decisión de autorizar el uso de riego para el cultivo de papa, la demanda de agua sería mayor si se adopta el modelo de producción de los arrendatarios. Los resultados obtenidos en términos del volumen de agua incorporado por unidad de masa producida, muestran diferencias entre las prácticas de propietarios y arrendatarios. Los valores estimados por año para el agricultor propietario representan entre el 22 y 64 % de valores obtenidos para los arrendatarios.

Vinculando estos valores con el análisis de aspectos culturales determinantes, es posible afirmar que la tecnología, organización y percepciones sobre el agua marcan diferencias en cuanto al consumo y manejo del agua entre propietarios y arrendatarios.

Por ser cultivos de secano, el manejo del suelo a través de la labranza condiciona la capacidad de almacenamiento y el contenido de humedad en el suelo. Teniendo en cuenta

que la precipitación efectiva no es suficiente para cubrir los requerimientos de los cultivos, es la humedad del suelo la fuente de agua más importante. Vale la pena cuestionarse sobre los beneficios y limitaciones que acarrearán los monocultivos de especies introducidas en la MARU, bajo el modelo de producción convencional.

La cobertura permanente del suelo, la diversificación de conectores y especies cultivadas en la finca, son prácticas que favorecen la conservación del suelo y por supuesto de la humedad. Estas actividades son más frecuentes entre los propietarios, quienes se proyectan en la finca a largo plazo, no como comercializadores de papa si no como habitantes de la MARU. En contraste, el arrendatario saca provecho del lote y se marcha, la conservación del suelo y de la humedad en el mediano y largo plazo no son su prioridad.

5. Conclusiones y recomendaciones.

5.1 Conclusiones.

Se identificaron dos grupos de agroecosistemas diferenciados fundamentalmente por la tenencia de la tierra, las prácticas utilizadas en los cultivos, los ingresos, las percepciones frente al agua y la huella hídrica estimada para sus cultivos de papa y pastos. En ambos casos predomina el monocultivo y el paquete tecnológico dependiente de insumos externos, particularmente para el cultivo de papa.

Los cultivos de papa y pasto se sustentan en la disponibilidad de agua verde y se encontraron prácticas en ambos grupos que influyen en la conservación de la humedad en el suelo, como lo son el establecimiento y mantenimiento de coberturas.

Los agricultores no utilizan agua de riego, por lo tanto, no ejercen presión sobre las fuentes de agua azul con respecto a otras actividades que se desarrollan en la cuenca, como el consumo doméstico, la minería y la industria láctea. Teniendo en cuenta los objetivos de la investigación y las limitaciones en la información disponible, no se desarrolló el análisis de sostenibilidad propuesto dentro del análisis de huella hídrica, insistiendo en que el mayor costo de oportunidad y conflictos ocurren en torno a la fuentes de agua azul, que son utilizadas por múltiples sectores (comunidad, industria y minería entre otros).

Tanto los propietarios como los arrendatarios producen papa utilizando el mismo paquete tecnológico y el sistema productivo es altamente dependiente de insumos externos. En el caso de los propietarios, el uso de insumos es limitado debido a que no cuentan con los recursos económicos suficientes para adquirir plaguicidas y fertilizantes en el mercado. Debe resaltarse que los precios de venta no han sido favorables, al igual que los rendimientos.

En su lugar, han empezado a recurrir a prácticas innovadoras que les permiten reducir las aplicaciones de fertilizantes nitrogenados, como lo es el descanso de suelo a través de la rotación del cultivo de papa con el de pasto y algunas leguminosas, la incorporación de abonos verdes y la diversificación de especies vegetales en la finca. Actualmente prefieren dedicarse a la producción de leche a baja escala y sembrar productos para autoconsumo, pues los precios del mercado no son favorables.

Por su parte los arrendatarios se dedican a la comercialización de papa y cuentan con cultivos en diferentes zonas, por lo que les resulta más fácil tomar la decisión de establecer las siembras intensivas en nuevos lugares con condiciones más favorables, dependientes del suministro excesivo de fertilizantes.

En el caso de la papa es muy común el arrendamiento de lotes, pues la incidencia de plagas y enfermedades motivan al agricultor a buscar nuevas zonas de siembra (CAR y Ambiotec, 2006; CAR, 2016). Ante el agotamiento de los suelos y el déficit hídrico, se percibió una tendencia a trasladar las siembras a nuevas zonas, desistir de la siembra de papa con fines comerciales e implementar prácticas de manejo de cultivo coherentes con las condiciones del territorio (esto último se evidenció para los arrendatarios particularmente).

En ambos grupos se observó inquietud frente a la escasez de agua, tanto de lluvias con de los caudales de las fuentes superficiales. De igual manera, perciben presencia institucional a través de las medidas de control y capacitación que realizan en la zona, particularmente la CAR (estatal), Tropenbos y Fundesot (ONG). La diferencia entre ambos grupos subyace en las acciones tomadas por cada grupo frente a la problemática del agua.

Se percibió que el proceso de innovación adoptado por los propietarios, va desde la producción de semilla certificada a bajo costo y el uso eficiente de los insumos incorporados, hasta la exploración y adopción de nuevas formas de relacionarse con el agroecosistema y la microcuenca.

En los relatos de los encuestados se pudo constatar que el estudio ha sido transformada e intervenida por medio de la agricultura, implementada bajo un modelo de producción

intensiva. Así mismo, relacionan los cambios en la cobertura con cambios en el balance hídrico de la microcuenca. Particularmente la Señora Erlinda Arévalo (49 años), quien ha vivido en la vereda el Alisal por 28 años, hizo referencia a lo que para ella son los efectos que a largo plazo generó el cultivo intensivo de la cebada y posteriormente el de papa: la reducción del caudal de las fuentes superficiales debido al manejo inadecuado de los suelos y la destrucción del páramo. Ella misma expresó su preocupación por la escasez de lluvias en la región y la vulnerabilidad de los habitantes de la zona rural de su municipio frente a la sequía y de cómo esta problemática se venía agudizando por los efectos del cambio climático⁶⁰ (Arévalo, 2015).

Aunque esta investigación no tiene el alcance suficiente como para corroborar la apreciación de la Señora Arévalo, se considera valioso hacer alusión a las percepciones que sobre esta problemática tienen los agricultores y sobre cómo relacionan de manera directa e indirecta el sistema productivo con la dinámica del agua en la microcuenca.

Se encontró que la precipitación efectiva estimada a partir de la información registrada por las estaciones El Hato, Novillero y Nazaret no es suficiente para cubrir los requerimientos hídricos de los cultivos y garantizar su óptimo desarrollo⁶¹. Sin embargo, se puede sugerir que a partir de lo observado y de los testimonios de los agricultores entrevistados, los suelos de la MARU han sido agotados y que la intervención del ecosistema de páramo alteró el balance hídrico en la microcuenca. Mantener el monocultivo bajo el modelo convencional altamente dependiente de insumos no se recomienda para la MARU.

Se encontraron diferencias en los valores estimados de huella hídrica, siendo superior el valor estimado para el cultivo de papa bajo el modelo de producción de los arrendatarios (promedio anual de 860,5 m³/t). Esto se explicó en parte por la aplicación de fertilizantes nitrogenados, la intensidad en las siembras que no permite el descanso del suelo y las prácticas de labranza, que favorecen la pérdida de la humedad. Esto vinculó a los intereses de este grupo de productores, cuyo objetivo es lograr la mayor rentabilidad en el cultivo.

⁶⁰ La Señora Erlinda (comunicación personal, 2015) ha participado activamente de las capacitaciones que diferentes entidades han ofrecido en la región, mostrando gran interés y a la vez preocupación por el cambio climático y sus efectos a nivel local, por lo que se ha esmerado en informarse sobre el tema y por discutirlo con sus vecinos y familiares.

⁶¹ No es posible sustentar en la escasez de agua los bajos rendimientos reportados en los cultivos (especialmente el papa) pues son múltiples las variables que allí pueden intervenir.

Por su parte los propietarios reportan un menor valor (419,4 m³/t), que se explican a partir de la alternancia del cultivo de papa con el de pasto, las limitaciones para adquirir insumos, sus percepciones y preocupación por el suelo y el agua derivados de su vinculación con la MARU. Aunque manejan un paquete tecnológico similar al de los arrendatarios, han empezado a cambiar algunas de las actividades que usualmente realizaban en la finca.

En general se puede afirmar que el monocultivo bajo el modelo de revolución verde en la MARU no es el modelo que se debe mantener, es necesario acoger recomendaciones y prácticas de conservación y diversificación como las que han difundido y vienen trabajando la CAR, FUNDESOT y Tropenbos. Esto coincide con las recomendaciones de uso del suelo aportadas por el IGAC (2000) en el estudio general de suelos para el departamento de Cundinamarca, donde se recomienda el establecimiento de cultivos semicomerciales, manejados bajo un modelo de agricultura de conservación. El estudio recomienda además diversificar y reforestar con especies nativas, actividad que han emprendido algunos de los propietarios, pues no se observó la existencia de conectores internos y externos muy incipientes y no hay una articulación visible entre la EAP de las fincas y la EEP de la microcuenca.

En esta investigación, solo se hicieron algunos aportes a la metodología propuesta por León (2014), en el sentido de enfatizar y valorar algunos aspectos del manejo de las fincas en la MARU que favorecen la conservación de la humedad del suelo.

Se encontró que los agricultores propietarios expresaron su arraigo por el territorio y su preocupación por proteger los suelos y aguas pensando en su supervivencia, más que en la rentabilidad del cultivo de papa o en satisfacer un mercado, por lo que es recomendable un modelo de producción para autoconsumo, que incluya la diversificación de especies presentes en las fincas y la implementación de prácticas para la conservación del suelo.

Teniendo en cuenta las restricciones en el acceso al agua, sería conveniente que acciones como las adelantadas por organizaciones como Tropenbos y Fundesot se mantuvieran y se trabajara en la apropiación de mejores prácticas de cultivo para autoconsumo, con un enfoque de labranza mínima y de conservación del suelo.

5.2 Recomendaciones

La estimación cuantitativa de la huella hídrica para un producto, bien o servicio aporta información sobre el consumo del agua, útil para ser contrastada con la oferta disponible en la cuenca y con la demanda requerida para suplir otros usos. La información cualitativa es clave para dar contexto al análisis y explicar el resultado.

No es sencillo afirmar si un valor estimado de huella hídrica es alto o bajo. El indicador como tal, debe acompañarse de la incorporación de elementos que permitan explicar el proceso de uso y apropiación del agua a través de un sistema de producción y de múltiples variables asociadas de manera particular a cada territorio y comunidad. Si bien los objetivos y alcances de este tipo de análisis son un referente para definir y aplicar los métodos de cuantificación más adecuados, el análisis y contexto que se haga del mismo son fundamentales a la hora de interpretar los valores numéricos que arroja la estimación de la huella hídrica.

El método debe incorporar otras variables, relacionadas con las prácticas específicas de manejo. Si bien Allen *et al.* (2006) incorporaron en el cálculo de la evapotranspiración del cultivo condiciones de producción no estándar relacionadas con aspectos biofísicos y agronómicos, el método no contempla aspectos culturales que son determinantes en el consumo del agua. Sería complejo vincular estos aspectos en términos matemáticos, por lo que es acertado explicar los valores cuantitativos con análisis cualitativos que den cuenta de la complejidad de la situación. Se debe analizar con más profundidad las implicaciones de los rendimientos en el valor estimado de la huella hídrica.

Un caso como el analizado en esta investigación, en el que la precipitación efectiva no alcanza a cubrir siquiera el 5% de los requerimientos del cultivo de papa y el 10% para los pasos, corresponde con la realidad de muchas zonas de producción de papa que coinciden con las zonas que padecen déficit hídrico en el país (IDEAM, 2014). Pese a que en la MARU no se aplica riego de ningún tipo y que muchos agricultores han desistido del cultivo de papa, en el campo se puede evidenciar que los cultivos completan su ciclo.

Para futuras investigaciones es pertinente trabajar en la validación de métodos de estimación de la huella hídrica a escala local. Particularmente en la validación del coeficiente del cultivo (K_c), puesto que los valores sugeridos por la FAO fueron generados bajo las condiciones de Idaho. Si bien la metodología y comentarios aportados por Allen (2006a; 2006b; 2006c) para el cálculo de la evapotranspiración bajo condiciones estándar y no estándar son un buen referente, son pocos los trabajos que al respecto se han hecho en el país, sin desconocer que sí se encuentran muchos estudios sobre los requerimientos y consumo del agua en cultivos de importancia económica.

El análisis de huella hídrica, además de aportar un valor numérico que da cuenta del consumo o la magnitud de la apropiación del agua para la producción de un bien o servicio, puede ser un criterio a considerar a la hora de plantear, desarrollar e incentivar una actividad productiva en una cuenca. Es considerado un buen referente cuantitativo que aporta información valiosa en la toma de decisiones si se contrasta con aspectos culturales específicos del territorio donde se pretende desarrollar la estimación. De igual manera, se debe revisar con más detenimiento las diferencias reportadas en cuanto al rendimiento en el cultivo de papa.

De igual manera es necesario ahondar en las relaciones entre el ingreso y el acceso a crédito con la aplicación de insumos, particularmente de fertilizantes. En este caso, las diferencias en el aporte de fertilizante nitrogenado marcaron diferencia en los valores estimados para la huella hídrica gris en ambos grupos. Se considera necesario hacer un análisis de este aspecto a profundidad.

La disponibilidad de recursos financieros por parte del agricultor define su capacidad para invertir en insumos, mano de obra, maquinaria y adecuaciones. Es necesario indagar sobre

los escenarios posibles, por ejemplo, en los que el agricultor tenga a su disposición subsidios para la compra de insumos y se le permitiera extraer y utilizar agua subterránea para el riego de los cultivos.

Los resultados del análisis de huella hídrica difícilmente son comparables en atención a la diversidad de métodos que actualmente existen en la literatura y a la incertidumbre en los datos utilizados, como fue el caso de la presente investigación. Por ende, se debe avanzar en el desarrollo de nuevas metodologías que se adapten y seas específicas para la problemática a abordar.

A diferencia de lo planteado por algunos autores consultados (Lovarelli *et al.*, 2016; Perry, 2014), más que estandarizar un método único, se debe apropiarse el concepto de huella hídrica como un referente de límite a la apropiación, realizar el desarrollo conceptual y metodológico que se adecue a las condiciones del territorio, sistema productivo, estructura física, cultural, interrelaciones y objetivo del análisis en particular.

Se debe investigar y analizar los vínculos entre el agua y el paisaje de un territorio intervenido con agricultura, puesto que la densidad y diversificación de conectores en la finca aportan beneficios para el cultivo y la conservación de la humedad del suelo. Analizar cómo la existencia de conectores en la finca reflejan los intereses y percepciones del agricultor.

A. Anexo: Análisis de aspectos culturales determinantes del consumo de agua en cultivos.

A-1. Formato de encuesta para recopilar información en campo.

Nombre finca _____
 Aspectos generales

1. Por favor indique su Nombre y apellido,

2. Por favor indique su edad,

3. Dispone de recursos financieros,

Si	_____
No	_____

4. Por favor indique la vereda y sector donde se ubica la finca,

5. Por favor indique el tipo de propiedad (marcar con una x),

Propietario	_____
Arrendatario	_____

6. Por favor indique cuánto tiempo lleva trabajando en la finca,

7. Por favor indique el área de la finca,

8. Por favor indique si Usted pertenece o no a una asociación,

Si ¿Cual	_____
No	_____

9. Por favor indique cuál de las actividades ha desarrollado en la finca entre 2009 y 2014,

Cultivo	_____
Vivienda	_____
Turismo	_____
Ganadería	_____
Otra cuál	_____
Ninguna	_____

10. Por favor indique cuales de estas especies ha cultivado entre 2009 y 2014,

Papa (variedades _____)	_____
Pastos (especies _____)	_____
Otro Cual	_____

11. Por favor indique para los años 2009 y 2014 las siembras realizadas, relacionando área y fecha aproximada,

Año Cultivo	09 10	11	12	13	14
Papa					
Pastos					

12. Por favor indique cuales son los rendimientos del cultivo de papa por cosecha (Ton/ha, cargas/ha)

2010	_____
2011	_____

2012	_____
2013	_____
2014	_____

13. Por favor indicar si cuenta con asistencia técnica,

Si	Permanente u ocasional
No	_____

14. Si contesto si a la pregunta 12, indicar quién le presta asistencia técnica

Técnico UMATA	_____
Técnico casa comercial	_____
Técnico particular	_____
Ninguno	_____

Labores de cultivo

15. Realiza Usted análisis de suelos?

Si	_____
No	_____

16. Que implementos utiliza para preparar el terreno?

17. Cuantos pases realiza?

18. Tiene en cuenta la humedad del suelo y el clima en la labranza?

Si	_____
No	_____

19. Procura mantener el suelo cubierto?

Si	_____
No	_____

20. Implementa actividades para la protección del suelo y prevención de erosión?

Si	_____
No	_____

21. Tiene en cuenta la pendiente a la hora de trazar los surcos?

Si	_____
No	_____

22. Por favor indique la cantidad de fertilizante que aplica por ciclo de cultivo de papa y pastos, Indique la fuente y cantidad utilizada para N, P y K por ha de cultivo,

Tipo	papa	pasto
Triple 15	_____	_____
13-26-6	_____	_____
10-30-10	_____	_____
Gallinaza	_____	_____
otro	_____	_____

23. Por favor indique que prácticas aplica para el manejo de malezas en el cultivo de papa,

Aplica herbicidas	_____
Deshierba manual	_____
Otra	_____

24. Incorpora abonos verdes?

Si	_____
No	_____

25. Si en la pregunta 23 marco aplica herbicidas, por favor indicar el/los herbicida(s) que aplica y el momento de aplicación respecto al cultivo de papa,

Herbicida	Preemergencia	Pos emergencia

26. Por favor indique el número de aplicaciones de plaguicidas que realiza por ciclo de cultivo de papa, especificando los nombres de los productos y la cantidad utilizada por ciclo de cultivo,

Polilla guatemalteca	
Gota	

27. Usted Realiza renovación de praderas?

Si	
No	

28. Que especies de pastos utiliza?

--

29. Cuantos animales (vacas) mantiene en la finca?

--

30. Permanecen estabulados?

Si	
No	

31. Que manejo le da a las excretas de los animales?

--

32. Por favor indique si maneja alguna de las siguientes alternativas tiene para la alimentación del ganado,

Silo o heno externo	
Residuos cosecha papa	
Concentrado	
Sal	

Consumo del agua

33. Por favor indique para su finca, en cuáles de las siguientes actividades utiliza agua,

Riego (agua azul)	
Lavado de equipos y herramientas	
Mezcla de insumos	
Consumo papa/pasto (agua verde)	
Lavado de superficies	
Consumo doméstico	
Otro	

34. Aplica riego a sus cultivos?

Si	
No	

35. Si la respuesta a la pregunta 34 fue sí, por favor indique cuales variables considera para tomar decisiones sobre riego

Textura y estructura del suelo	
Época de siembra	
Requerimiento hídrico del cultivo	
Oferta hídrica	
Otra	
Ninguna	

36. Que cantidad de riego aplica por ciclo de cultivo?

Papa	
Pastos	

37. Pertenece a una asociación o distrito de riego o acueducto comunitario?

Si, Cuál?	
No	

38. Junto con sus vecinos han realizado alguna actividad para el cuidado del agua?

Si, Cuál?	
No	

39. Cuál de las siguientes fuentes hídricas utiliza para suplir las necesidades de sus cultivos

Río ó quebrada	
----------------	--

Acueducto	
Lago	
Lluvia	
Pozo	
Otro	

40. Si contesto rio, quebrada, lago ó pozo, por favor indique si fue necesario solicitar un permiso ante la autoridad ambiental competente,

Si	
No	

41. Si contestó lluvia, por favor indique si tiene colectores de agua lluvia

Si	
No	

42. Se interesa por el contenido de nitritos y nitratos en el agua?

Si	
No	

Institucional

43. Ha percibido la intervención del Estado para el cuidado del agua, el suelo y los bosques?

Si	
No	

44. De cuál de las siguientes entidades ha recibido o tiene conocimiento de su presencia en el territorio para el cuidado del agua y los ecosistemas?

UMATA-ALCALDIA	
MINISTERIO	
CAR	
FEDEPAPA	
FUNDESOT	
TROPENBOS	
NINGUNA	

45. Qué tipo de intervención ha percibido por parte del estado?

Capacitación, Asiste?	
Fomento	
Sanción	
Censo	
Otro	
Ninguno	

46. Por favor indique si es beneficiario de alguno de los incentivos para la protección del suelo y el agua

Si, Cuál?	
No	

Paisaje

47. Mencione fuentes hídricas cercanas a la finca y acciones que haya adelantado para su cuidado,

--

48. Comente cambios que haya percibido en dichas fuentes entre 2009 y 2014,

--

49. Dentro de su finca ha establecido árboles o arbustos?

Si	
No	

Percepción

50. Qué medidas ha implementado Usted para la protección del agua en su finca y en la región?

--

51. Qué medidas ha adoptado para enfrentar los efectos de las temporadas de sequía e invierno extremo?

Fuentes de ingreso alternas, Cuáles? Emplearse fuera de la finca, Si_No_ Dejar el cultivo de papa Si_No_ Venta de ganado Si_No_ Reforestar ronda de quebrada Si_No_

A-2. Resultados del análisis de variables categóricas.

Tecnología.

Tabla A-2-1. Correlaciones de las variables transformadas: componente tecnología.

Correlaciones de las variables transformadas: componente tecnología									
Variables categóricas a correlacionar	Tenencia de la tierra	Incorpora abonos verdes	Permite el descanso del suelo mediante el establecimiento de pastos	Dimensión:1					
				Realiza análisis físico-químico de suelos	Cuenta con asistencia técnica	Aplica recomendaciones del asistente técnico	Aplica plaguicidas químicos categoría toxicológica 1	Realiza labranza adecuada a las condiciones de la finca	Mantiene cubierto el suelo
Tenencia de la tierra,	1,000	0,556	0,533	0,076	0,513	0,408	0,692	0,702	0,656
Incorpora abonos verdes,	0,556	1,000	0,469	0,067	0,571	0,438	0,405	0,333	0,572
Permite el descanso del suelo mediante el establecimiento de pastos	0,533	0,469	1,000	0,142	0,536	0,218	0,362	0,409	0,453
Realiza análisis físico-químico de suelos	0,076	0,067	0,142	1,000	0,035	0,071	-0,003	-0,008	0,227
Cuenta con asistencia técnica	0,513	0,571	0,536	0,035	1,000	0,236	0,383	0,386	0,531
Aplica recomendaciones del asistente técnico	0,408	0,438	0,218	0,071	0,236	1,000	0,557	0,527	0,329
Aplica plaguicidas químicos categoría toxicológica 1	0,692	0,405	0,362	-0,003	0,383	0,557	1,000	0,728	0,433
Realiza labranza adecuada a las condiciones de la finca	0,702	0,333	0,409	-0,008	0,386	0,527	0,728	1,000	0,427
Mantiene cubierto el suelo	0,656	0,572	0,453	0,227	0,531	0,329	0,433	0,427	1,000
Dimensión	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Autovalores	4,391	1,203	0,970	0,700	0,334	0,541	0,416	0,256	0,189

Tabla A-2-2. Medidas de discriminación tenencia vs, variables categóricas en tecnología.

Medidas de discriminación tenencia vs, variables categóricas en tecnología			
	Dimensión		Media
	1	2	
Tenencia de la tierra	0,760	0,008	0,384
Incorpora abonos verdes,	0,534	0,115	0,324
Permite el descanso del suelo mediante el establecimiento de pastos,	0,449	0,061	0,255
Realiza análisis físico-químico de suelos,	0,017	0,004	0,010
Cuenta con asistencia técnica,	0,488	0,388	0,438
Aplica recomendaciones del asistente técnico,	0,377	0,524	0,451
Aplica plaguicidas químicos categoría toxicológica 1,	0,605	0,047	0,326
Realiza labranza adecuada a las condiciones de la finca	0,592	0,134	0,363
Mantiene cubierto el suelo,	0,570	0,010	0,290
Total activo	4,391	1,290	2,841
% de la varianza	48,793	14,330	31,561

Organización.

Tabla A-2-3. Correlaciones de las Variables transformadas: componente organización.

Correlaciones de las Variables transformadas: componente organización						
Dimensión:1						
	Tenencia de la tierra	Pertenencia a una asociación de productores	Dispone de recursos económicos	Algún integrante de la familia se emplea fuera de la finca	Participa de acciones colectivas de reforestación en la zona	Pertenece y se beneficia de un acueducto veredal
Tenencia de la tierra,	1,000	0,452	0,692	0,254	0,255	0,714
Pertenencia a una asociación de productores de papa,	0,452	1,000	0,589	0,226	0,169	0,262
Dispone de recursos económicos,	0,692	0,589	1,000	0,169	0,446	0,522
Algún integrante de la familia se emplea fuera de la finca,	0,254	0,226	0,169	1,000	-0,113	0,163
Participa de acciones colectivas de reforestación en la zona,	0,255	0,169	0,446	-,113	1,000	0,579
Pertenece y se beneficia de un acueducto veredal,	0,714	0,262	0,522	0,163	0,579	1,000
Dimensión	1	2	3	4	5	6
Autovalores	2,977	1,197	0,795	0,571	0,328	0,132

Tabla A-2-4. Medidas de discriminación tenencia vs, variables categóricas en organización.

	Medidas de discriminación tenencia vs, variables categóricas en organización		Media
	Dimensión 1	Dimensión 2	
Tenencia de la tierra,	0,732	0,017	0,374
Pertenencia a una asociación de productores,	0,414	0,128	0,271
Dispone de recursos económicos,	0,743	0,001	0,372
Algún integrante de la familia se emplea fuera de la finca,	0,085	0,568	0,326
Participa de acciones colectivas de reforestación en la zona,	0,338	0,418	0,378
Pertenece y se beneficia de un acueducto veredal,	0,665	0,066	0,366
Total activo	2,977	1,197	2,087
% de la varianza	49,621	19,949	34,785

Percepciones sobre el agua.

Tabla A-2-5. Correlaciones de las Variables transformadas: componente percepciones sobre el agua.

Correlaciones de las Variables transformadas: componente percepciones sobre el agua

Dimensión:1							
	Tenencia de la tierra	Interés y participación en actividades para el cuidado del agua	Abandono del cultivo de papa	Establecimiento de coberturas para mantener humedad	Interés frente a cambios en fuentes hídricas	Manejo de excretas del ganado	Interés y acciones para conservación del suelo
Tenencia de la tierra,	1,000	0,183	0,551	0,811	0,556	0,085	0,557
Interés y participación en actividades para el cuidado del agua,	0,183	1,000	0,150	0,367	0,232	-0,144	0,238
Abandono del cultivo de papa,	0,551	0,150	1,000	0,508	0,383	-0,026	0,439
Establecimiento de coberturas para mantener humedad,	0,811	0,367	0,508	1,000	0,593	0,371	0,619
Interés frente a cambios en fuentes hídricas,	0,556	0,232	0,383	0,593	1,000	0,030	0,228
Manejo de excretas del ganado,	0,085	-0,144	-0,026	0,371	0,030	1,000	0,252
Interés y acciones para conservación del suelo,	0,557	0,238	0,439	0,619	0,228	0,252	1,000
Dimensión	1	2	3	4	5	6	7
Autovalores	3,302	1,201	0,874	0,747	0,457	0,327	0,091

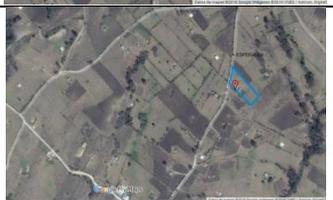
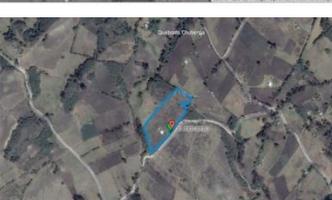
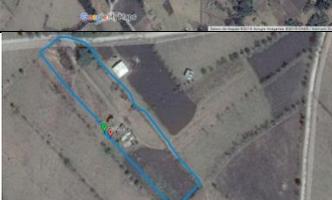
Tabla A-2-6. Medidas de discriminación tenencia vs, variables categóricas en percepciones sobre el agua.

Medidas de discriminación tenencia vs, variables categóricas en percepciones sobre el agua

	Dimensión		Media
	1	2	
Tenencia de la tierra	0,762	0,076	0,419
Interés y participación en actividades para el cuidado del agua	0,153	0,453	0,303
Abandono del cultivo de papa	0,475	0,040	0,257
Establecimiento de coberturas para mantener humedad	0,866	0,001	0,434
Sensibilidad frente a cambios en fuentes hídricas	0,462	0,025	0,243
Manejo excretas de ganado	0,057	0,786	0,421
Interés y acciones para conservación del suelo	0,528	0,002	0,265
Total activo	3,302	1,383	2,343
% de la varianza	47,178	19,751	33,464

A-3. Imágenes de las fincas manejadas por sus propietarios en la MARU.

Tabla A-3. Fincas manejadas por propietarios, así como información sobre la edad y tiempo de permanencia del agricultor en la finca.

Finca	Mapa	Finca	Mapa
Finca: Los Pinos Propietaria: Marina Garcia Edad: 60 años Tiempo en finca: 35 años 6,400 m ²		Finca: El Rectángulo Propietario: Jorge Ovidio Pinilla Edad: 44 años Tiempo en finca: 25 años 6,400 m ²	
Finca: El Cerezo Propietaria: Dora Arévalo Edad: 51 años Tiempo en finca: 16 años 7,000 m ²		Finca: El Recuerdo 2 Propietario: Pedro Enrique Pinilla Edad: 72 años Tiempo en finca: 60 años 10,000 m ²	
Finca: El Cuadro Propietaria: Aleida Moncada Edad: 48 años Tiempo en finca: 25 años 6,400 m ²		Finca: El Recuerdo 3 Propietario: Pedro Esteban Castiblanco Edad: 55 años Tiempo en finca: 40 años 6,000 m ²	
Finca: Copacabana Propietario: Alvaro Arévalo Edad: 48 años Tiempo en finca: 19 años 10,000 m ²		Finca: La Esperanza Propietaria: Roberto Rodríguez Edad: 52 años Tiempo en finca: 11 años 10,000 m ²	
Finca: El Recuerdo Propietario: Alvaro Pinilla Edad: 53 años Tiempo en finca: 20 años 10,000 m ²		Finca: Siberia Propietaria: José Joaquín Montaña Edad: 74 años Tiempo en finca: 30 años 5,000 m ²	
Finca: Lote 1 Propietario: Adriano Pinilla Edad: 57 años Tiempo en finca: 31 años 6,400 m ²		Finca: Loma de Plata Propietaria: Cecilia Becerra de Arevalo Edad: 65 años Tiempo en finca: 50 años 3,200 m ²	

<p>Finca: Arenal La Falda Propietaria: Erlinda Arevalo Edad: 49 años Tiempo en finca: 28 años 20,000 m²</p>		<p>Finca: La Pluma Propietaria: Primitiva Rincón Edad: 68 años Tiempo en finca: 35 años 10,000 m²</p>	
<p>Finca: Solar Propietario: Uturiel Tovar Duque Edad: 67 años Tiempo en finca: 40 años 1,200 m²</p>		<p>Finca: Manzanares Propietario: Luis Hernando Rodríguez Edad: 52 años Tiempo en finca: 15 años 16,700 m²</p>	
<p>Finca: El Tablón Propietario: Jesús Antonio Tocanchon Edad: 45 años Tiempo en finca: 13 años 10,000 m²</p>		<p>Finca: San Miguel Propietario: Miguel Arturo Pinilla Rincón Edad: 50 años Tiempo en finca: 7 años 3,000 m²</p>	
<p>Finca: Los Pinos 2 Propietaria: Blanca Adela Arevalo Edad: 57 años Tiempo en finca: 37 años 10,000 m²</p>		<p>Finca: La Huerta Propietario: Octavio Pinilla Rincón Edad: 38 años Tiempo en finca: 28 años 6,400 m²</p>	
<p>Finca: La Toma Propietaria: Claudia Arevalo Edad: 40 años Tiempo en finca: 10 años 6,400 m²</p>		<p>Finca: El Mirador Propietario: Maria Paola Pinilla Rincón Edad: 35 años Tiempo en finca: 17 años 3,000 m²</p>	
<p>Finca: Pozo Azul Propietario: Hernando Castillo Edad: 77 años Tiempo en finca: 50 años 19,200 m² Antonio</p>		<p>Finca: La Loma- Los Pinos Propietario: Alcibiades Pinilla Pachón Edad: 77 años Tiempo en finca: 60 años 30,000 m²</p>	
<p>Finca: El Alisal Propietario: Luis Antonio Gómez Edad: 78 años Tiempo en finca: 78 años 9,600 m²</p>		<p>Finca: El Zipacón Propietario: Luis Alejandro Sánchez Pinilla Edad: 40 años Tiempo en finca: 3 años 10,000 m²</p>	

<p>Finca: El Ciro Propietario: Alfonso Montaña Edad: 60 años Tiempo en finca: 60 años 3,800 m²</p>		<p>Finca: La Rastra Propietario: Patricia Pinilla Arévalo Edad: 27 años Tiempo en finca: 5 años 6,400 m²</p>	
<p>Finca: El Pantano Propietario: Ismael Montaña Edad: 71 años Tiempo en finca: 20 años 7,000 m²</p>		<p>Finca: La Esperanza Propietario: Fabio Rodolfo Pinilla Arevalo Edad: 28 años Tiempo en finca: 3 años 6,400 m²</p>	

B. Anexo: Análisis de huella hídrica en cultivos de papa y pastos para los años 2009-2014.

B-1. Resultados huella hídrica estimada por componente para cada ciclo de siembra de papa y pastos en los grupos descritos. Se presentan los resultados obtenidos para cada área de influencia.

Tabla B-1-1. Valores estimados de huella hídrica (m³/t) entre los años 2009-2010.

Grupo	Componente huella	Ciclo de cultivo				Área de influencia
		2009-1	2009-2	2010-1	2010-2	
Propietario	HH _{verde}	249,0	65,0	72,5	69,0	Novillero
	HH _{gris}	100,0	32,5	32,5	32,5	
	HH	349,0	97,5	105,0	101,5	
Arrendatario	HH _{verde}	145,3	171,9	191,3	173,6	
	HH _{gris}	250,0	208,3	250,0	208,3	
	HH	395,3	380,2	441,3	381,9	
Propietario	HH _{verde}	360,4	78,9	67,7	83,35	Hato
	HH _{gris}	100	32,5	32,5	32,5	
	HH	460,4	111,4	100,2	115,9	
Arrendatario	HH _{verde}	210	201,6	203	200,4	
	HH _{gris}	250	208,3	250	208,3	
	HH	460,0	409,9	453,0	408,7	
Propietario	HH _{verde}	345,5	106,1	65,4	74,3	Nazaret
	HH _{gris}	100,0	32,5	32,5	32,5	
	HH	445,5	138,6	97,9	106,8	
Arrendatario	HH _{verde}	201,6	183,4	200,8	170,1	
	HH _{gris}	250,0	208,3	250,0	208,3	
	HH	451,6	391,7	450,8	378,4	

Tabla B-1-2. Valores estimados de huella hídrica (m³/t) entre los años 2011-2012.

Grupo	Componente huella	Ciclo de cultivo				Área de influencia
		2011-1	2011-2	2012-1	2012-2	
Propietario	HH _{verde}	290,9	64,0	304,4	90,4	Novillero
	HH _{gris}	100,0	20,0	100,0	20,0	
	HH	390,9	84,0	404,4	110,4	
Arrendatario	HH _{verde}	169,6	191,1	177,6	208,5	
	HH _{gris}	250,0	208,3	250,0	208,3	
	HH	419,6	399,4	427,6	416,8	
Propietario	HH _{verde}	300,7	67,75	306,5	84,7	Hato
	HH _{gris}	100	20	100	20	
	HH	400,7	87,8	406,5	104,7	
Arrendatario	HH _{verde}	175,4	203	178	209,8	
	HH _{gris}	250	208,3	250	208,3	
	HH	425,4	411,3	428,0	418,1	
Propietario	HH _{verde}	306,5	73,4	320,1	93,6	Nazaret
	HH _{gris}	100,0	20,0	100,0	20,0	
	HH	406,5	93,4	420,1	113,6	
Arrendatario	HH _{verde}	178,8	220,3	186,8	212,9	
	HH _{gris}	250,0	208,3	250,0	208,3	
	HH	428,8	428,6	436,8	421,2	

Tabla B-1-3. Valores estimados de huella hídrica (m³/t) entre los años 2013-2014.

Grupo	Componente huella	Ciclo de cultivo				Área de influencia
		2013-1	2013-2	2014-1	2014-2	
Propietario	HH _{verde}	346,0	73,2	76,0	69,0	Novillero
	HH _{gris}	100,0	20,0	20,0	20,0	
	HH	446,0	93,2	96,0	89,0	
Arrendatario	HH _{verde}	201,9	180,6	204,3	178,8	
	HH _{gris}	250,0	250,0	208,3	250,0	
	HH	451,9	430,6	412,6	428,8	
Propietario	HH _{verde}	368,7	87,7	63,9	105,3	Hato
	HH _{gris}	100	20	20	20	
	HH	468,7	107,7	83,9	125,3	
Arrendatario	HH _{verde}	215	241	215	225,9	
	HH _{gris}	250	250	208,3	250	
	HH	465,0	491,0	423,3	475,9	
Propietario	HH _{verde}	368,5	84,8	74,0	98,3	Nazaret
	HH _{gris}	100,0	20,0	20,0	20,0	
	HH	468,5	104,8	94,0	118,3	
Arrendatario	HH _{verde}	215,0	217,1	236,6	218,2	
	HH _{gris}	250,0	250,0	208,3	250,0	
	HH	465,0	467,1	444,9	468,2	

Bibliografía

- Aguilera, F. (1991). Algunas cuestiones sobre economía del agua. *Agricultura y Sociedad*, 59, 197–221.
- Aguilera, F. (1993). El problema de la planificación hidrológica: una aplicación al caso español. *Revista de Economía Aplicada*, 2(1), 209–216.
- Aguilera, F. (1994). AGUA, ECONOMIA Y MEDIO AMBIENTE: INTERDEPENDENCIAS FISICAS Y LA NECESIDAD DE NUEVOS CONCEPTOS. *Estudios Agro-Sociales*, 167, 113–130.
- Albert, L. A. (1997). Nitratos y nitritos. In *Sociedad Mexicana de Toxicología* (p. 72). Montevideo.
- Alcaldía Municipal de Carmen de Carupa. (2009). ANEXO 3. ESQUEMA DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL CARMEN DE CARUPA (CUNDINAMARCA). Carmen de Carupa.
- Allan, J. (1998). Virtual Water: A Strategic Resource Global solutions to Regional Deficits. *GROUND WATER*, 36(4), 545–546.
- Allen, R.; Pereira, L.; Raes, D.; Smith, M. (2006). Parte A Evapotranspiración de referencia (ET_o). In *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56*.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006a). Introducción a la evapotranspiración. In *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56*. (p. 323).
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006b). Parte B. Evapotranspiración del cultivo en condiciones estándar Introducción a la Evapotranspiración del Cultivo (ET_c). In *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56*.
- Allen, R., Pereira, L., Raes, D., y Smith, M. (2006c). Parte C. Evapotranspiración del cultivo en condiciones no estándar ET_c bajo condiciones de estrés hídrico. In *Evapotranspiración del cultivo Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56*. (p. 48).
- Angel, A. (1995). *La fragilidad ambiental de la cultura. Homo* (2nd ed.). Consultado en www.augustoangelmaya.com.
- Angel, A. (2015). *Hacia una sociedad ambiental* (2nd ed.). Bogotá.
- Ángel, A. (2013). *EL RETO DE LA VIDA -ECOSISTEMA Y CULTURA- UNA INTRODUCCIÓN AL ESTUDIO DEL MEDIO AMBIENTE*. (Ecofondo, Ed.) (2nd ed.). Bogotá.
- Arévalo, D. (2012). *Una mirada a la agricultura de Colombia desde su Huella Hídrica REPORTE COLOMBIA 2012*. Bogotá D.C.

- Arévalo, D. (2015). Comunicación personal. Actividades para proteger el suelo y el agua. Carmen de Carupa.
- Arévalo, E. (2015). Comunicación personal. Percepciones sobre el agua en la MARU. Carmen de Carupa.
- Ataroff, M., y Naranjo, M. (2009). Interception of water by pastures of *Pennisetum clandestinum* Hochst. ex Chiov. and *Melinis minutiflora* Beauv. *Agricultural and Forest Meteorology*. 149, 1616-1620.
- Azar, C., Holmberg, J., y Lindgren, K. (1996). Socio-ecological indicators for sustainability. *Ecological Economics*, 18, 89–112.
- Barrera, L. (1998). Fertilización del cultivo de papa en los departamentos de Cundinamarca y Boyacá. In Ricardo Guerrero (Ed.), *MONOMEROS COLOMBO VENEZOLANOS SA* (1st ed., Vol. 1, pp. 47–67). Bogotá D.C: MONOMEROS.
- Berkes, F., Colding, J., y Folke, C. (2003). *Navigating Socia-Ecological Systems: Building Resilience for Complexity and Change*. (C. Folke, Ed.). New York.
- Bermúdez, O. (2003). *Cultura y ambiente: la educación ambiental, contexto y perspectivas*. (I. de E. Ambientales, Ed.) (1st ed.). Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia.
- Bernal, J., Eliecer, P., Díaz, D., Javier, A., Monroy, F., Mejías, P., ... Boshell, J. (2013). *Uso del modelo acuacrop para estimar rendimientos para el cultivo de papa en los departamentos de cundinamarca y boyacá*. (MADR y FAO, Eds.) (1st ed., Vol. 1). Bogotá D.C.: FAO.
- Birbaumer, G. (2000). *Labranza Mínima y siembra Directa en los Andes*. (P. de C. de S. y A. en la Z. A. [Proyecto C. C. GTZ, Ed.] (1st ed.). Colombia.
- Boelee, E., Scherr, S., Pert, P., Barron, J., Finlayson, M., Descheemaeker, K., ... Molden, D. (2013). Management of Water and Agroecosystems in Landscapes for Sustainable Food Security. In *Managing Water and Agroecosystems for Food Security* (1st ed., pp. 156–170). CAB INTERNATIONAL.
- Bringezu, S., Schütz, H., Pengue, W., Brien, M., Garcia, F., Sims, R., ... Weiss, J. (2014). *Assessing Global Land Use: Balancing consumption with sustainable supply*. Consultado en [http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/50244/publications/Full_Report-Assessing_Global_Land_UseEnglish_\(PDF\).pdf](http://www.unep.org/resourcepanel/Portals/50244/publications/Full_Report-Assessing_Global_Land_UseEnglish_(PDF).pdf)
- Builes, E. (2013). *Cuantificación y análisis de sostenibilidad ambiental de la huella hídrica agrícola y pecuaria de la cuenca del río Porce*.
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., y Cisneros, F. (2006). *HIDROLOGÍA DEL PÁRAMO ANDINO: PROPIEDADES, IMPORTANCIA Y VULNERABILIDAD*. Consultado en http://geobol.com/condesan/gestion/agua/listado_publicaciones
- Buytaert, W., Céleri, R., De Bièvre, B., y Cisneros, F. (2006). *HIDROLOGÍA DEL PÁRAMO ANDINO: PROPIEDADES, IMPORTANCIA Y VULNERABILIDAD*. Consultado en http://geobol.com/condesan/gestion/agua/listado_publicaciones
- CAR y JICA. (2000). VOLUMEN 2: INFORME PRINCIPAL. In JICA-CAR-CTI (Ed.), *EL ESTUDIO SOBRE PLAN DE MEJORAMIENTO AMBIENTAL REGIONAL PARA LA CUENCA DE LA LAGUNA DE FÚQUENE* (1st ed., p. 169). Tokio: JICA.
- CAR. (2016). *Proceso de conservación del suelo y agua: respuesta a derecho de información radicado en agosto 16 de 2015*. Bogotá D.C.
- CAR, y Ambiotec. (2006). *ELABORACION DE LOS ESTUDIOS DE DIAGNOSTICO PROSPECTIVA Y*

- FORMULACION PARA LA CUENCA HIDRIGRÁFICA DE LOS RIOS UBATÉ Y SUÁREZ (DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA). CUENCA ALTO RIO UBATE 2401-02. Bogotá: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca. Consultado en Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR
- Carmen de Carupa, A. M. (2015). CARMEN DE CARUPA LE INFORMA: NOTICIAS. Consultado en octubre 6 de 2015 en <http://www.carmendecarupa-cundinamarca.gov.co/noticias.shtml?apc=ccx-1-yx=3090998>
- Castro, C. (1990). *Simulación agua producción para el manejo óptimo del agua en cuatro variedades de papa*. Universidad Jorge Tadeo Lozano.
- CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL, C. (2015). Huella Hídrica en Papa. Bogotá.
- Chapagain, A., y Hoekstra, A. (2004). *Water footprints of nations. Value of Water Research Report Series No. 16*. Delft.
- CIPF. NIMF 5. Glosario de términos fitosanitarios., Normas Internacionales de Medidas Fitosanitarias 47–62 (2005). IPPC. Consultado en https://www.ippc.int/largefiles/adopted_ISPMs_previousversions/es/ISPM_05_2005_Es_2006-05-02.pdf
- Corpoica. (2013). *Recomendaciones para el manejo del cultivo de la papa en el altiplano Cundiboyacense*. Corporación Autónoma Regional, C. (2014). Caso de interés - OPUB - Páramo de Laguna Verde - Ubaté. Consultado en mayo 27 de 2015 en <http://www.observatorioambientalcar.co/vercaso.php?id=53>
- Correa, H., Pabón, M. y Carulla, J. (2008). Valor nutricional del pasto kikuyo (*Pennisetum clandestinum* Hoehst Ex Chiov.) para la producción de leche en Colombia (Una revisión): II. Contenido de energía, consumo, producción y eficiencia nutricional. *Livestock Research for Rural Development*, 20 (4) 1-14.
- Czarnowski, M., y Olszewski, J. (1968). Rainfall Interception by a Forest Canopy. *Oikos*, 19(2), 345–350.
- Dabrowski, J., Murray, K., Ashton, P., y Leaner, J. (2009). Agricultural impacts on water quality and implications for virtual water trading decisions. *Ecological Economics*, 68(4), 1074–1082. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.07.016>
- Dabrowski, J., Peall, S., Vanniekerk, A., Reinecke, A., Day, J., y Schulz, R. (2002). Predicting runoff-induced pesticide input in agricultural sub-catchment surface waters: linking catchment variables and contamination. *Water Research*, 36(20), 4975–4984.
- Daly, H. (1990). Carrying capacity as a tool of development policy: the Ecuadoran Amazon and the Paraguayan Chaco. *Ecological Economics*.
- Daly, H. (2013). A further critique of growth economics. *Ecological Economics*, 88, 20–24.
- DANE. (2002). *I Censo Nacional del cultivo de papa. Departamentode Cundinamarca. Distribución de municipios por provincias*. Bogotá D.C. Consultado en http://www.dane.gov.co/files/investigaciones/agropecuario/enda/ena/papa_censo_cundinamarca.pdf
- DANE. (2014). *Censo Nacional Agropecuario 2014*. Bogotá. Consultado en <http://www.dane.gov.co/files/CensoAgropecuario/entrega-definitiva/Boletin-8-sostenibilidad-ambiental/8-Boletin.pdf>
- Delgado, C., y Páramo, G. (2002). *Conocimiento local: notas etnográficas en Carmen de Carupa*. Universidad Nacional de Colombia Sede Bogotá.
- Díaz, M., Navarrete, J., y Suárez, T. (2005). Páramos: Hidrosistemas Sensibles. *Revista de Ingeniería de La*

- Facultad de Ingeniería Universidad de Los Andes*, 22, 64–75.
- Ekins, P., Simon, S., Deutsch, L., Folke, C., y de Groot, R. (2003). A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. *Ecological Economics*, 44, 165-185.
- El Tiempo. (2011, April 25). La situación de Ubaté es catastrófica'. *Periódico El Tiempo*. Consultado en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-4517264>
- Falkenmark, M. (2003). Freshwater as shared between society and ecosystems : from divided approaches to integrated. *Fresh Water, Society and Ecosystems*, 358(November), 2037–2049.
- Falkenmark, M., y Rockström, J. (2006). The New Blue and Green Water Paradigm: Breaking New Ground for Water Resources Planning and Management. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 132(3), 129–132.
- Fang, K., Heijungs, R., y de Snoo, G. R. (2015). Understanding the complementary linkages between environmental footprints and planetary boundaries in a footprint-boundary environmental sustainability assessment framework. *Ecological Economics*, 114, 218–226. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.04.008>
- FAO. (2010). CROPWAT 8.0. Roma: FAO. Consultado en http://www.fao.org/nr/water/infores_databases_cropwat.html
- Fassbender, H. (1993). *Modelos edafológicos de sistemas agroforestales*. (CATIE, Ed.) (2nd ed.). Turrialba: CATIE.
- Fedepapa, F. C. de P. de P. (2010). *Acuerdo de competitividad de la cadena agroalimentaria de la papa en Colombia*. Bogotá D.C. Consultado en <http://www.fedepapa.com/wp-content/uploads/pdf/ACUERDO-COMPETITIVIDAD-CADENA-AGROALIMENTARIA-PAPA.pdf>
- Feijoó, K. (2014). Expertos en huella hídrica y huella de carbono se dan cita en Bogotá. *Clima Y Sector Agropecuario Colombiano. Adaptación Para La Sostenibilidad Productiva*, 2.
- Fischer-Kowalski, M. (1997). Society's Metabolism: Origins and Development of the Material Flow Paradigm. In S. Bringezu, M. Fischer-Kowalski, R. Kleijn, y V. Palm (Eds.), *Regional and National Material Flow Accounting: From Paradigm to Practice of Sustainability. Proceedings of the ConAccount workshop 21 -23 January, 1997* (1st ed., pp. 16–23). Leiden, The Netherlands: Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy and the authors.
- Fischer-Kowalski, M., Singh, S. J., Lauk, C., Remesch, A., Ringhofer, L., y Grünbühel, C. (2011). Sociometabolic transitions in subsistence communities: Boserup revisited in four comparative case studies. *Human Ecology Review*, 18(2), 147–158.
- Fleiner, R., Grace, D., Pert, P. L., Bindraban, P., Tharme, R. E., Boelee, E., ... Molden, D. (2013). Water Use in Agroecosystems. In *Managing Water and Agroecosystems for Food Security* (1st ed., pp. 53–67). CAB INTERNATIONAL.
- Forero, J. (2003). Economía campesina y sistema agroalimentario en Colombia: aportes para la discusión sobre seguridad alimentaria. *Economía Campesina y Sistema Alimentario en Colombia: Aportes Para La Discusión Sobre Seguridad Alimentaria*, 44.
- Forero, J., Torres, L., Ortiz, P., Durana, C., Galarza, J., Corrales, E., y Rudas, G. (2002). *SISTEMAS DE PRODUCCION RURALES EN LA REGIÓN ANDINA COLOMBIANA*. (J. Forero, Ed.) (1st ed.). Bogotá D.C.: Pontificia Universidad Javeriana. <http://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Georgescu-Roegen, N. (1986). The Entropy Law and the Economic Process in Retrospect. *Eastern Economic Journal*, 12(1), 3–25.
- Gerbens, M., Mekonnen, M., y Hoekstra, A. (2013). The water footprint of poultry, pork and beef: A comparative study in different countries and production systems. *Water Resources and Industry*, 1(2), 25–36.
- Gobernación de Cundinamarca. (2010a). Estadísticas de Cundinamarca 2010 - Sector Agropecuario , 6–12. Consultado en http://www.cundinamarca.gov.co/wps/wcm/connect/bf58d381-97aa-4c27-9ed2-9ace183fa7c8/Anuario_agropecuario.pdf?MOD=AJPERES
- Gobernación de Cundinamarca. (2010b). *Estadísticas de Cundinamarca 2010: CATASTRO Y ESTRUCTURA DE LA PROPIEDAD DE LA TIERRA*. Bogotá D.C.
- Gobernación de Cundinamarca. (2014). *ESTADÍSTICAS de Cundinamarca 2011-2013*. Bogotá D.C.
- Gómez, E., y Rico, L. (2009). Sostenibilidad: cultura de los límites. In *Claves del Ecologismo Social*.
- Guiza, L. (1991). LA SEQUÍA, UN ENEMIGO QUE SE VA DE LOS HATOS DE UBATÉ. *Periódico El Tiempo*, 4. Consultado en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-76315>
- Hansen, A. (2013). Huella hídrica gris y contaminación del agua. In UAM (Ed.), *Agua, alimentación y bienestar: La huella hídrica como enfoque complementario de gestión integral del agua en México* (1st ed., pp. 213–224). México D.F: Universidad Autónoma de México. Consultado en http://bidi.xoc.uam.mx/tabla_contenido_libro.php?id_libro=425
- Hart, M., Quin, B., y Nguyen, M. (2004). Phosphorus runoff from agricultural land and direct fertilizer effects: a review. *Journal of Environmental Quality*, 33, 1954–1972.
- Heyd, T. (2011). Pensar la relacion entre cultura y cambio climático. En A. Ulloa (Ed.), *Perspectivas culturales del clima* (1st ed., p. 576). Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Humanas. Departamento de Geografía ILSA 2011.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., y Aldaya, M. (2011). *The Water Footprint Assesment Manual*. (Earthscan, Ed.) (2nd ed.). Londres.
- Hoekstra, A., Chapagain, A., Aldaya, M., y Mekonnen, M. (2009). *Water Footprint Manual State of the Art*.
- Hoekstra, A., y Förrare, J. (2008). The water footprint of food. *Water for Food*, 49–60. <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-799968-5.00007-5>
- Hoekstra, A. (2009). Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis. *Ecological Economics*, 68(7), 1963–1974. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.06.021>
- Hofstede, R., Segarra, P., y Mena, P. (2003). *Los Páramos del Mundo*. (R. Hofstede, P. Segarra, y P. Mena, Eds.) (1st ed.). Quito: Proyecto Atlas Mundial de los Páramos. Global Peatland Initiative/NC-IUCN/ECOCIENCIA.
- Hofstede, R., Vásconez, S., y Cerra, M. (2015). *Vivir en los páramos. Percepciones, vulnerabilidades, capacidades y gobernanza ante el cambio climático*. (IUCN, Ed.) (1st ed.). Quito, Ecuador: Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza UICN.
- ICA. (2015). Estadísticas: plantaciones forestales comerciales registradas ante el ICA. Bogotá D.C.
- IDEAM. (2013). *Zonificación y codificación de uniades hidrográficas e hidrogeológicas de Colombia*. (IDEAM, Ed.) (1st ed.). Bogotá, D.C.: IDEAM. Consultado en <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/022655/MEMORIASMAPAZONIFICACIONHI>

DROGRAFICA.pdf

- IDEAM. (2014). *Estudio Nacional del Agua*. (IDEAM, Ed.) (2nd ed.). Bogotá D.C.: Panamericana Formas e Impresos S.A. Consultado en www.ideam.gov.co
- IGAC. (2000). *ESTUDIO GENERAL DE SUELOS Y ZONIFICACION DE TIERRAS DEL DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA*. (IGAC, Ed.) (1st ed.). IGAC.
- IGAC. (2009). Sistema de Información geográfica para la planeación y el ordenamiento territorial. Consultado en http://sigotn.igac.gov.co/sigotn/frames_pagina.aspx
- IGAC. (2010). Geoportal. Consultado el 1 de octubre de 2015 en <http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=23ytitle=Catastro Nacional>
- INCORA. (1996). Por la cual se determinan las extensiones de las unidades agrícolas familiares, por zonas relativamente homogéneas, en los municipios situados en las áreas de influencia de las respectivas gerencias regionales, Resolución 52 (1996). INCORA. Consultado en http://www.incoder.gov.co/documentos/Desarrollo_Rural/Pedaf/Normatividad/RESOLUCI%C3%93N No 041 DE 1996.pdf
- Leff, E. (2004). *RACIONALIDAD AMBIENTAL La reapropiación social de la naturaleza*. (Siglo Veintiuno, Ed.) (1st ed.). México D.F.
- León, T. (2014). *LA PERSPECTIVA AMBIENTAL DE LA AGROECOLOGÍA: LA CIENCIA DE LOS AGROECOSISTEMAS*. (Universidad Nacional de Colombia. Sede Bogotá., Ed.) (1st ed.). Bogotá.
- León, T., y Suárez, A. (1998). *Efectos de Plantaciones Forestales sobre Suelo y Agua. SERIE TÉCNICA No 41 Programa CONIF MINAMBIENTE sobre evaluación del impacto ambiental de las plantaciones forestales de Colombia*. (1st ed.). (CONIF Y minambiente, Eds.). Bogotá D.C.: MINAMBIENTE.
- Liu, J., y Yang, H. (2010). Spatially explicit assessment of global consumptive water uses in cropland: green and blue water. *Journal of Hydrology*, 384, 187–197.
- Lovarelli, D., Bacenetti, J., y Fiala, M. (2016). Water Footprint of crop productions: A review. *Science of The Total Environment*, 548-549, 236–251. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.01.022>
- Madrid, C., Cabello, V., y Giampietro, M. (2013). Water-Use Sustainability in Socioecological Systems: A Multiscale Integrated Approach. *BioScience*, 63, 14–24.
- MAVDT, y Fedepapa. (2004). *GUÍA AMBIENTAL PARA EL CULTIVO DE LA PAPA*. (MAVDT, Ed.) (1st ed.). Bogota: Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial.
- Mekonnen, M., y Hoekstra, A. (2011). *National water footprint accounts: the green, blue and grey water footprint of production and consumption. and grey water footprint of production and consumption. Value of Water Research Report Series No. 50*. Delft.
- Merrett, S., Allan, J., Lant, C., Allan, T., y King, S. (2003). Virtual Water -the Water, Food, and Trade Nexus Useful Concept or Misleading Metaphor?, 28(1).
- Mesa, G. (2013). *Derechos ambientales en perspectiva de integralidad: : concepto y fundamentación de nuevas demandas y resistencias actuales hacia el “Estado ambiental de derecho”* (3rd ed.). Bogotá D.C.: Universidad Nacional de Colombia-Sede Bogotá. Facultad de Derecho, Ciencias Políticas y Sociales.
- Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, M. (2016). Colombia Siembra. Consultado el 3 de febrero de 2016 en <http://colombiasiembraminagricultura.gov.co/>
- Molden, D. (2007). *A Comprehensive Assessment of Water Management in Agriculture*. United Kingdom.

- Consultado en www.earthscan.co.uk
- Moore, A., Robertson, M., y Routley, R. (2011). Evaluation of the water use efficiency of alternative farm practices at a range of spatial and temporal scales: a conceptual framework and a modelling approach. *Agriculture Systems*, 104, 162–174.
- Odum, E. P. (1995). *ECOLOGÍA: El Vinculo Entre las Ciencias Naturales y las Sociales*. (C. E. CONTINENTAL, Ed.) (17th ed.). México D.F.: ARTE Y EDICIONES TERRA.
- OMM. (1994). *Guía de prácticas hidrológicas*. (OMM, Ed.) (5th ed.). OMM.
- Orozco, F. (1999). *La Biología del Nitrógeno Conceptos básicos sobre sus transformaciones biológicas*. (Francisco Hemando Orozco, Ed.) (1st ed.). Medellín: Universidad Nacional de Colombia sede Medellín. Facultad de Ciencias.
- Pearce, D., y Turner, K. (1995). *Economía de los recursos naturales y del medio ambiente*. Madrid: Celeste.
- Peña, A., Arce, B., Ayarza, M., Lascano, C. (2010). Simulación de los requerimientos hídricos de pasturas en un escenario de cambios climáticos generados con análisis espectral singular. *Acta Agronómica*, 59 (1), 1-8.
- Pérez, M., Peña, M., y Alvarez, P. (2011). Agro-industria cañera y uso del agua: análisis crítico en el contexto de la política de agrocombustibles en Colombia. *Ambiente y Sociedad*, 14(2), 153–178. <http://doi.org/10.1590/S1414-753X2011000200011>
- Perry, C. (2014). Water footprints : Path to enlightenment , or false trail ? *Agricultural Water Management*, 134, 119–125. <http://doi.org/10.1016/j.agwat.2013.12.004>
- Presidencia de la República de Colombia. (1984). por el cual se reglamenta parcialmente el Título I de la Ley 09 de 1979, así como el Capítulo II del Título VI - Parte III - Libro II y el Título III de la Parte III Libro I del Decreto 2811 de 1974 en cuanto a usos del agua y residuos líquidos. Consultado en <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>.
- Pinilla, M. (2015). Comunicación personal. Problemática del agua en Carmen de Carupa. Carmen de Carupa.
- Pinto, E. (2014). *Primer informe: análisis y síntesis de los estudios sobre Evaluación hidrogeológica en la jurisdicción del Valle de Chiquinquirá. Contrato CAR 1355 de 2015*. (No. 1). Bogotá D.C.
- Pinto, E. (2015). *Segundo Informe: análisis y síntesis de información de concesiones de agua subterránea de las Direcciones Regionales de Chiquinquirá y Ubaté – Cuenca del río Alto Suarez*. (No. 1). Bogotá D.C.
- Pinzón, A., y Amézquita, E. (1991). Compactación por ganadería intensiva en algunos suelos del Caquetá (Colombia). *Suelos Ecuatoriales*, 21(1), 104–111.
- PNUMA. (2012). *Geo 5 Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. (PNUMA, Ed.). <http://doi.org/10.2307/2807995>
- Prochnow, A., Drastig, K., Klauss, H., y Berg, W. (2012). Water use indicators at farm scale: methodology and case study. *Food and Energy Security*, 1(1), 29–46.
- PRONAR., (1992). COEFICIENTES DE CULTIVO DE CINCO CULTIVOS DE IMPORTANCIA AGRICOLA EN EL ALTIPLANO BOLIVIANO. In *Investigación aplicada* (pp. 14–26).
- Qadir, M., Boers, T., Schubert, S., Ghafoor, A., y Murtaza, G. (2012). Agricultural water management in water-starved countries: challenges and opportunities. *Agricultural Water Management*, 62, 165–185.
- Rees, W. (1992). Ecological footprints and appropriated carrying capacity: what urban economics leaves out.

- Environment and Urbanization*, 4, 121–130.
- Rockström, J., Falkenmark, M., Karlberg, L., Hoff, H., Rost, S., y Gerten, D. (2009). Future water availability for global food production: The potential of green water for increasing resilience to global change. *Water Resources Research*, 45, 1–16. <http://doi.org/10.1029/2007WR006767>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, A., Chapin III, F., Lambin, E., ... Foley, J. (2009). Planetary boundaries: exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32. Consultado en <http://www.ecologyandsociety.org/vol14/iss2/art32/>
- Rodriguez, C., Ruiz de Galarreta, V., y Kruse, E. (2015). Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina. *Journal of Cleaner Production*, 90, 91–96.
- Rodríguez, H., Arévalo, O., Pinilla, M., Moncada, C., y Moncada, L. (2015). *Historia de la vereda Alisal: un relato sobre nuestros aprendizajes comunitarios y organizativos. Proyecto Comunidades de los Páramos, fortaleciendo las capacidades y la coordinación para la adaptación de los efectos del cambio climático.* (T. I. C. y U. Sur, Ed.). Bogotá D.C.
- Rojas, Alejandro; Núñez, C. E. (2008). *ESTUDIO DE LINEA BASE SOBRE EL SISTEMA PRODUCTIVO DE LA PAPA EN CUATRO DEPARTAMENTOS PRODUCTORES DE COLOMBIA.* Universidad Nacional de Colombia.
- Sadeghian, S., Rivera, J., y Gómez, M. (2000). Impacto de sistemas de ganadería sobre las características físicas, químicas y biológicas de suelos en los andes de Colombia. In FAO (Ed.), *Conferencia electrónica de la FAO sobre "Agroforestería para la producción animal en Latinoamérica."* FAO. Consultado en <http://www.fao.org/livestock/agap/frg/agrofor1/Siavosh6.htm>
- Saffigna, P., Tanner, C., y Keeney, D. (1976). Non-Uniform Infiltration Under Potato Canopies Caused by Interception, Stemflow, and Hilling. *Agronomy Journal*, 68 (marzo-abril), 337–342. Consultado en <file:///C:/Users/MERCEDES GONZALEZ/Desktop/aj-68-2-AJ0680020337.pdf>
- Salmoral, G., Dumont, A., Aldaya, M., Rodriguez, R., y Llamas, M (2011). Análisis de la huella hídrica extendida de la cuenca del Guadalquivir. *Fundación Botín- Observatorio del Agua, Junio*, 91.
- Sánchez, P., Castilla, C., y Alegre, J. (1989). *Grazing pressure effects on the pasture Degradation Process.* Palmira.
- Santos, M., Segura Abril, M., y Núñez, C. (2005). *EVALUACIÓN DE VARIABLES FISIOLÓGICAS Y COMPONENTES DE RENDIMIENTO EN CUATRO VARIEDADES Y DOS CLONES AVANZADOS DE PAPA (Solanum tuberosum L.) en el municipio de Zipaquirá.* Universidad Nacional de Colombia.
- Schulz, R. (2004). Field studies on exposure, effects, and risk mitigation of aquatic nonpoint-source insecticide pollution: a review. *Journal of Environmental Quality*, 33, 419–448.
- Segura, M., Santos Castellanos, M., y Núñez, C. (2006). Desarrollo fenológico de cuatro variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en el municipio de Zipaquirá (Cundinamarca). *Fitotecnia Colombiana*, 6(2), 33–43.
- Shaxson, F., y Barber, R. (2005). *Boletín de la FAO No. 79. Optimización de la humedad del suelo para la producción vegetal. El significado de la porosidad del suelo.* (ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN FAO, Ed.) (1st ed.). Roma: FAO.
- Silva, G. (1998). *HIDROLOGÍA BÁSICA.* (Gustavo Adolfo Silva Eds.) (1st ed.). Bogotá D.C. : Unidad de Publicaciones, Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Colombia.

- Thaler, S., Zessner, M., de Lis, F., Kreuzinger, N., y Fehring, R. (2012). Considerations on methodological challenges for water footprint calculations. *Water Science y Technology*, 65(7), 1258–1264.
- Toledo, A. (2006). *Agua, hombre y paisaje*. (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., Instituto Nacional de Ecología., Centro de Investigaciones y Estudios Sociales en Antropología Social., Eds.) (1st ed.). México D.F: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales., Instituto Nacional de Ecología.
- Valencia, M. (2009 Agosto 20). En riesgo 386.000 hectáreas de páramo en Cundinamarca, por minería, ganadería y agricultura. *Periódico El Tiempo*. Bogotá, D.C. Consultado en <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-5902889>.
- Wackemagel, M., y Rees, W. (1997). Perceptual and structural barriers to investing in natural capital: Economics from an ecological footprint perspective. *Ecological Economics*, 20, 3–24.
- Wackernagel, M., y Rees, W. (1998). *Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth*. (N. Society, Ed.) (1st ed.). Gabriola Island, British Columbia, Canada.
- Zamudio, C., y León, T. (2008). TRANSFERENCIA Y ADOPCIÓN DE PRÁCTICAS DE AGRICULTURA DE CONSERVACIÓN DEL “PROYECTO CHECUA”, EN LOS MUNICIPIOS DE CALDAS (BOYACÁ) Y NEMOCÓN (CUNDINAMARCA). *Gestión Y Ambiente*, 11(2), 149–162.
- Zeitoun, M., Allan, J., y Mohieldeen, Y. (2010). Virtual water “flows” of the Nile Basin, 1998-2004: A first approximation and implications for water security. *Global Environmental, Change*. 20, 229-242.
- Zhuoa, L., Mekonnen, M., Hoekstra, A., y Wada, Y. (2016). Inter- and intra-annual variation of water footprint of crops and blue water scarcity in the Yellow River basin (1961–2009). *Advances in Water Resources*, 87, 29–41.
- Zoebi, D. (2006). Is water productivity a useful concept in agricultural water management? *Agricultural Water Management*, 84, 265–273.