

DEFINICIÓN DE LA OFERTA HÍDRICA A TRAVÉS DEL USO DE LA HERRAMIENTA DE MODELACIÓN WEAP Y ANÁLISIS TRIBUTARIO EN LA CUENCA DEL RÍO RANCHERÍA

BRANDON JAVIER CAMACHO HORTUA; FABIAN ALEJANDRO LIEVANO JIMENEZ
Universidad Santo Tomás

RESUMEN

En el siguiente artículo se presenta un balance hídrico de la cuenca del Río Ranchería realizado con ayuda de la herramienta computacional WEAP, un software académico que permite la planeación integrada del recurso hídrico. Con el fin de establecer la disponibilidad del recurso hídrico en la cuenca, fue necesario partir del análisis del suministro de agua de 5 subcuencas dentro de un contexto de demanda de su uso con análisis sectorial, modelando escorrentía por precipitación, teniendo en cuenta las diversas actividades productivas desarrolladas en la zona y los aportes fiscales que representan en relación con su tasa de uso, posteriormente se articuló la oferta hídrica presente en la cuenca con las actividades productivas por medio de un análisis costo-beneficio por la demanda no cubierta en la cuenca para los sectores productivos. Finalmente se usó el software WEAP para modelar dos escenarios teóricos los cuales se refieren a un distrito de riego y aun acueducto, de esta manera se logró disminuir la demanda insatisfecha de la cuenca la cual era originalmente 27 billones de metros cúbicos, con el acueducto se redujo a 22 billones y con el distrito de riego a 6 billones.

Palabras Clave: Recurso Hídrico, Balance Hídrico, WEAP, Cerrejón, minería, agricultura, ganadería, cuenca del río Ranchería.

ABSTRACT

The following article present the Rancheria's river basin hydric balance using the software WEAP, this software allows hydric resource integrated planning. In order to define the hydric resource availability was necessary start by the analysis of the water supply in 5 sub-basins with a demand context, modeling runoff by precipitation, taking into account the various productive activities developed in the area and the fiscal contributions they represent in relation to their rate of use, subsequently articulated the water supply present in the basin with productive activities through a cost-benefit analysis by demand not covered in the basin for the productive sectors. Finally the software WEAP was used for modeling two theoretical scenarios with an irrigation district and an aqueduct, with those scenarios was possible to decrease the unmet demand that originally was 27 billions of cubic meters, with the presence of the aqueduct the unmet demand decrease till 22 billions and with the irrigation district it decrease till 6 billions.

Key words: Water Resources, Water Balance, WEAP, Payment for environmental services, Cerrejón, mining, agriculture, livestock, Rancheria river basin.

1. INTRODUCCIÓN

La oferta de servicios de los ecosistemas está fuertemente determinada por la disponibilidad del recurso hídrico, históricamente, las civilizaciones también se han regido por un cuerpo de agua cercano, capaz de abastecer a la población y satisfacer sus necesidades. En Colombia, en el departamento de La Guajira no se cuenta con la misma disponibilidad de agua que en el resto del país, esto debido a que toda la humedad que vienen de sur a norte del país, proveniente de la selva amazónica, se queda en las cordilleras, generando un efecto campana o foehn [2], este departamento se caracteriza por vientos secos poca probabilidad de lluvia, lo que hace a la Guajira un departamento con bajo recurso hídrico. Sin embargo, allí también se realizan actividades productivas, mayormente en el sector agrícola y ganadero, puntualmente en la cuenca del río Ranchería se resaltan las actividades extractivas, allí se encuentra El Cerrejón, la mina a cielo abierto más grande del mundo, quién al igual que las otras actividades productivas hace uso del recurso hídrico para la realización de sus actividades.[2]

La gestión del recurso hídrico históricamente ha sido uno de los puntos claves para permitir el desarrollo tanto económico como ambiental de un país, por ende es necesario el uso de cualquier herramienta o estudio que permita una mirada más amplia y completa de cómo realizar una adecuada gestión del recurso hídrico a las actividades económicas, definiendo a partir de la oferta hídrica la prioridad según su uso y con los aportes fiscales las medidas de conservación para la demanda de los habitantes de la cuenca.

El departamento de la guajira no cuenta con información suficiente para establecer la verdadera disponibilidad de agua en la cuenca, es por esto que el objeto de este artículo es realizar un balance hídrico por medio de herramientas computacionales de modelación capaces de analizar variables que definen la disponibilidad de agua y asimismo analizar los aportes económicos de los diferentes actores (minería, agropecuarios) para proponer un esquema de pagos por servicios ambientales en función de producción-disponibilidad.

La cuenca del río Ranchería está localizada en la parte baja del departamento de la Guajira, es decir desde la cabecera sur oriental de la Sierra Nevada de Santa Marta, discurriendo por sus estribaciones hasta el corredor del Valle de Upar [3]. Nace en el flanco este de la Sierra Nevada de Santa Marta, en el páramo de Chirigua a una altitud de 3.875 m.s.n.m. [3], desemboca en el mar caribe luego de su recorrido generando así una extensión para la cuenca de 248 km.

En la figura número 1 se presenta el mapa con la división política de la cuenca hidrográfica del río Ranchería.

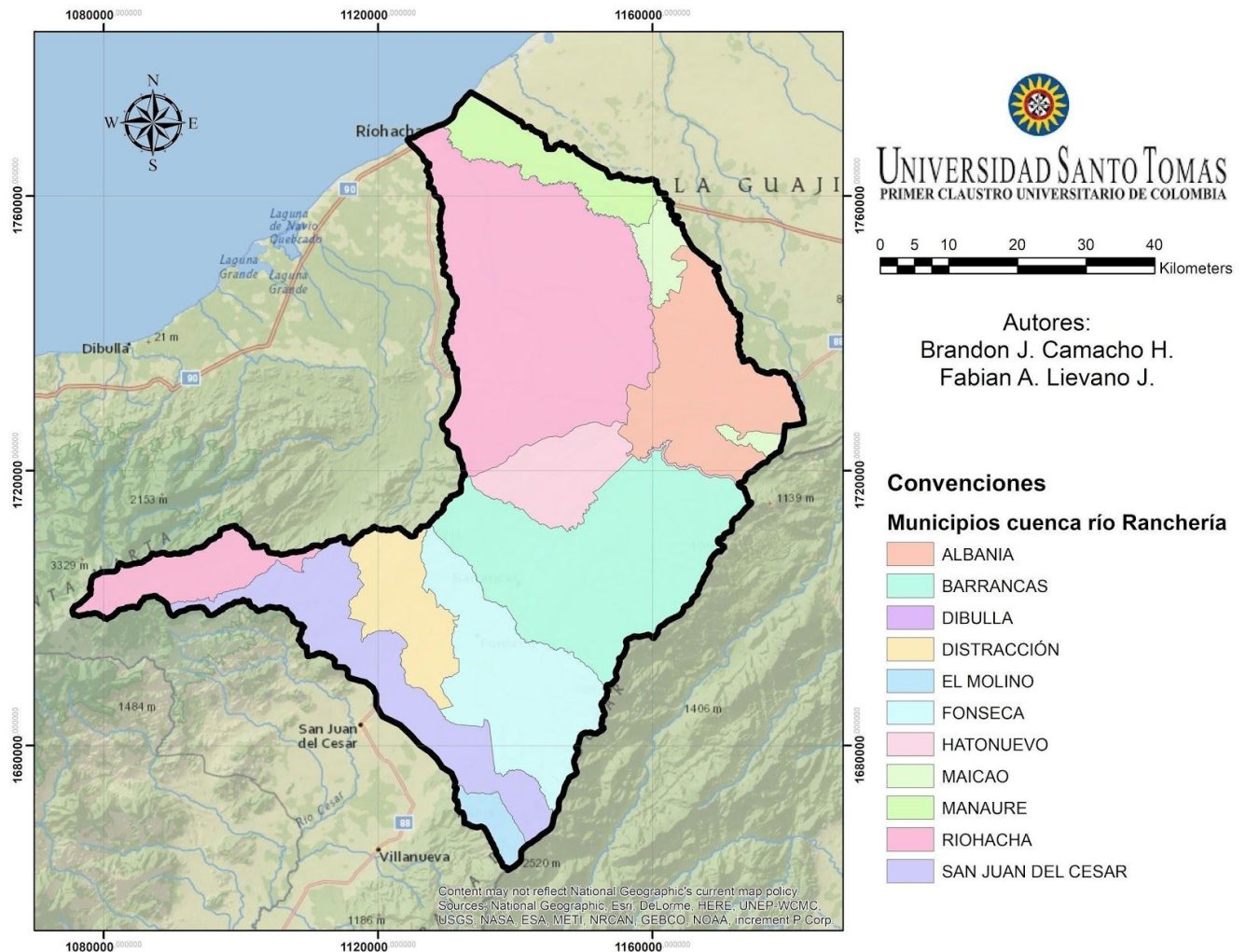


Figura 1. División político administrativa de la cuenca del río Ranchería
Fuente: Autores

La cuenca limita al Occidente con la Quebrada Ovejas y el límite oriente de la cuenca del Río tapias, al Oriente por el Brazo Yotomahana y el Arroyo Purpurema presentando este sector una altura máxima de 400 m.s.n.m. y mínima 40 m.s.n.m., se encuentra en este sector el asentamiento humano Karalouptamahana y el Caserío La Puente, al Sur por el Río cañaverales y el Arroyo Guatapurí donde existe una altura máxima 2000 m.s.n.m., y mínima de 400 m.s.n.m., el caserío El Playón y los asentamientos humanos Bonaire, La Esmeralda y la Vereda Pondores, al Norte la cuenca limita con el Océano Atlántico y la Cabecera Municipal de Riohacha [2].

En esta cuenca se generan actividades de diversos tipos para corresponder al sustento económico y aporte al PIB de este terreno, aunque son muchas, la más importante sin duda es la actividad minera El Cerrejón, la presencia de esta empresa hace a la cuenca río Ranchería única en todo el país, las actividades mineras realizadas allí convierten a Colombia en uno de los principales exportadores de carbón del mundo, por ende dichas actividades generan repercusiones en las aguas de la cuenca donde están, además de dichas actividades mineras, también se llevan a cabo actividades agropecuarias y acuícolas.[4]

La presencia de estas actividades mineras genera cierto nivel de competencia cuando los habitantes de la cuenca quieran llevar a cabo actividades que necesiten abastecimiento de agua, esto genera una situación de presión sobre el recurso hídrico que por condiciones meteorológicas, geológicas y geográficas no está presente en abundancia como en otras partes del territorio nacional, siendo así, la gobernanza del territorio con respecto al agua debe ser prioridad dado que el recurso hídrico es de vital importancia para la supervivencia de las comunidades y el desarrollo de prácticas productivas en esta cuenca, cabe aclarar que la cuenca cuenta con un potencial importante tanto para actividades extractivas como para actividades agropecuarias por lo cual, es imperativo encontrar un balance entre lo económico y lo ambiental que permita beneficio a ambas partes de una manera que no conduzca al agotamiento del recurso hídrico en el área de estudio, para esto es necesario un análisis que permita observar comparativos entre ambas partes respecto a sus consumos de agua promedio y además concluir la significancia de cada actividad en la economía del país.

2. METODOLOGÍA

La metodología se desarrolló en dos fases, la primera consta de la realización de un balance hídrico y su análisis basado en la disponibilidad del recurso, la fase dos toma como insumo la información económica que aportan los sectores productivos en la cuenca en conjunto con la información obtenida en la fase 1 para correlacionar las condiciones hidrológicas con las económicas en cada subcuenca.

2.1 Fase 1

Para la realización de la modelación del balance hídrico se usaron datos climatológicos e hidrológicos como: caudal, temperatura, brillo solar, cobertura del terreno, precipitación, humedad relativa (obtenidos de la red hidrológica nacional del IDEAM), los cuales son de carácter mensual multianual entre el año 1985 a 2015 y cobertura del terreno y coeficiente de cultivos (kc) extraídos de fuentes secundarias (Agustín Codazzi y FAO). Con estos datos obtenidos para todas las estaciones dentro y a un radio de 100 km² de la cuenca, se procede a realizar el análisis estadístico a través del uso de lenguaje de programación Python para convertir los datos de series a grupos para poder manejar los datos por variable y por periodo de tiempo, retirar datos anómalos para reducir el porcentaje de incertidumbre y error, recortar grupos y series para poder dar mejor manejo a la base de datos e ingresarla del modo que es requerido en el software WEAP, analizar completitud de datos, filtrar y catalogar por completitud para así poder descartar algunas estaciones que poseen una cantidad muy alta de datos faltantes, llenado aleatorio de datos, interpolar, establecer estadística zonal y generar isotermas. Así descartando los outlayer y en general depurando los datos para tener información útil de las características de la cuenca (caudal, brillo solar, humedad relativa, precipitación y temperatura). Una vez obtenidos estos datos estadísticamente tratados con el procedimiento anteriormente mencionado, se definieron las subcuencas en el área de estudio con la ayuda del software arc-GIS con el complemento arc-Hydro, esta cuenca es cargada al software WEAP, se vectorizan sus respectivos drenajes de primer y segundo orden, después de alimentar el modelo con toda la información descrita anteriormente se inicia la calibración del mismo, es válido aclarar que en esta fase los investigadores encontraron inconvenientes debido a que la información de caudal encontrada en la desembocadura de la cuenca no era suficiente por la cantidad de datos faltantes, razón por la cual el software no funcionó correctamente en esta primera calibración, por tal motivo, se realizó una transposición de caudales usando la información disponible en una estación hidrometeorológica ubicada en la mitad de la cuenca, no se usó directamente este punto para realizar la calibración ya que es necesario realizar este procedimiento a la desembocadura de la cuenca puesto que si se

calibra desde la mitad de la cuenca el software automáticamente desestima las variables y la condiciones aguas arriba de este punto, por ende es necesario transponer caudales para calibrar en la desembocadura de la cuenca. Una vez se obtuvo la calibración del modelo se contrastó con los datos obtenidos para caudal suministrados por el IDEAM usando la herramienta de calibración del software WEAP para así poder determinar que lo modelado si correspondiera a la realidad observada.

En la figura 2 se pueden observar las estaciones que están dentro del perímetro de la cuenca, la estación marcada con una flecha simboliza la estación de la cual se tomaron los datos para la trasposición de caudal y la estación marcada con un triángulo ubicada más al norte de la cuenca, donde se encuentra la desembocadura, muestra la estación que será usada para la calibración después de haber sido realizada la transposición de caudal. La transposición se realiza debido a que la cantidad de datos faltantes es superior a los registrados en la estación ubicada a la desembocadura y por ende se necesita transponer la información disponible a la mitad de la cuenca para que el software funcione correctamente y se pueda realizar la calibración del modelo.

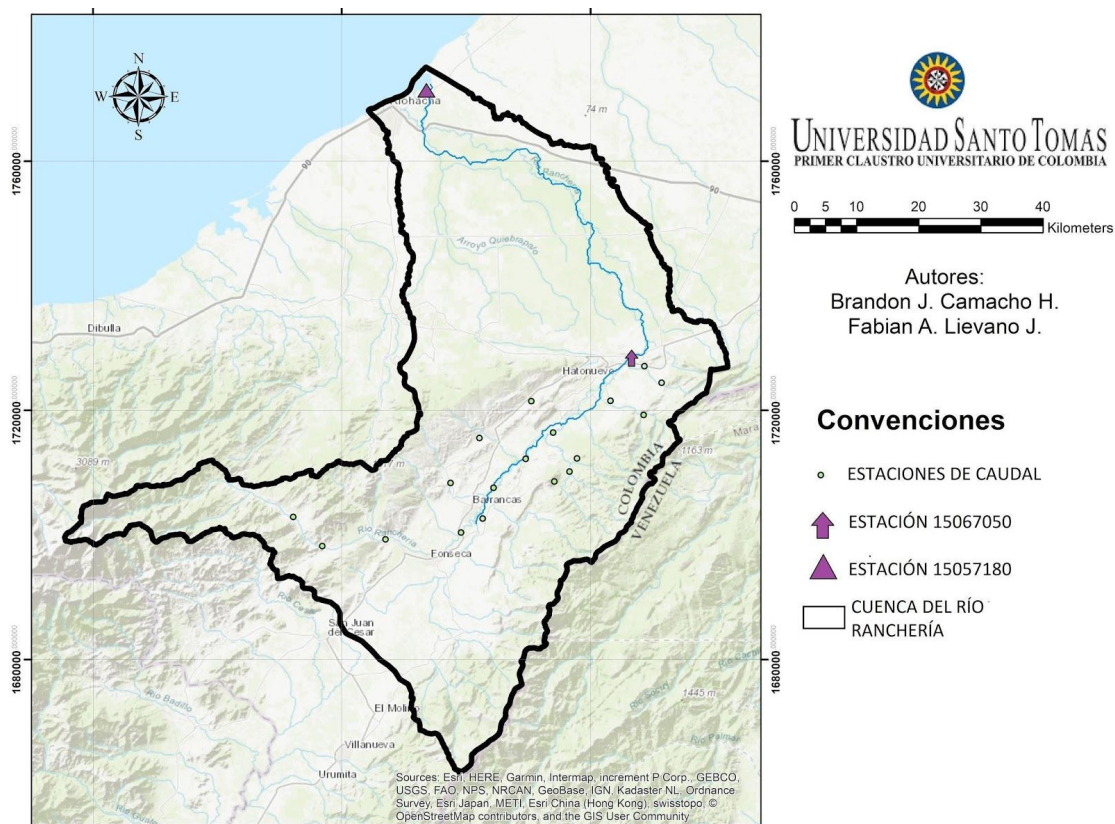


Figura 2. Estaciones usadas para la transposición de caudales.

Fuente. Autores

Una vez la calibración del modelo esté realizada se procedió a usar la información generada por el software para realizar la correlación entre las condiciones hidrológicas (oferta de recurso hídrico, demanda insatisfecha) y económicas de la cuenca, dicha correlación se realiza en pro de generar una perspectiva completa de la realidad en la cuenca, un panorama completo que explique porqué el recurso hídrico en la cuenca se usa de una determinada manera para actividades económicas.

La figura número 3 resume en un diagrama de flujo la metodología desarrollada en la fase 1, teniendo en cuenta todos los insumos y procesos requeridos para su satisfactoria conclusión.

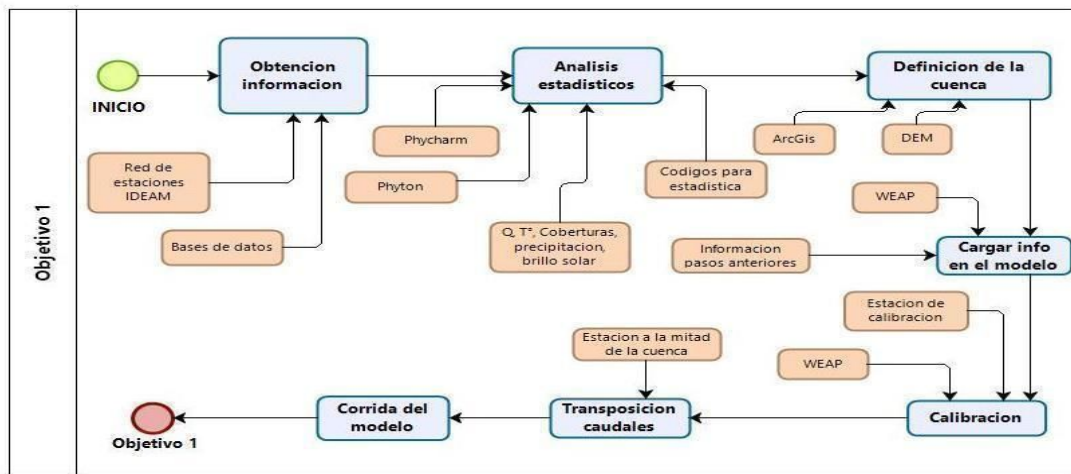


Figura 3. Diagrama de flujo Fase 1
Fuente. Autores

2.2 Metodología fase 2

Una vez realizado el balance hídrico se tomó esta información como fuente de insumo para definir la disponibilidad de agua en la cuenca analizando la oferta y demanda hídrica en cada subcuenca, dependiendo de las condiciones meteorológicas, actividades productivas y el consumo doméstico. Así se realizó una comparación de la cantidad del recurso hídrico que utiliza cada actividad económica. Este proceso se realizó con información obtenida de El Cerrejón y de información secundaria obtenida para el sector agropecuario en la cuenca en función de área (Ha) y producción (TON). Así como los aportes fiscales de dichas actividades, definiendo así también el costo-beneficio de cada actividad, lo que genera una articulación entre la dimensión económica y la disponibilidad del recurso hídrico para que se puedan llevar a cabo dichas actividades productivas. Sin embargo, en temas agropecuarios, sólo son los grandes agricultores y ganaderos son quienes generan aportes fiscales por la utilización del recurso y registran su actividad económica, aportando de esta forma al PIB, Los pequeños agricultores y ganaderos no tiene un registro de su actividad, ni generan estos aportes, por lo que se tiene un gran número de pequeños agropecuarios que generan un umbral incertidumbre.

En la figura 4 se describe el proceso investigativo para cumplir y concluir a cabalidad la fase número 2, se puede expresar en qué parte se usará y de donde se obtendrá dicha información, la fase 2 tuvo como objetivo principal articular las dimensiones del estudio, la economía y la hidrología, para así poder constituir una visión amplia de la situación de la cuenca, puesto que las actividades de conservación a nivel hidrológico y ambiental siempre deben estar apoyadas en bases económicas válidas que permitan propender por mejorar la situación en la cuenca ya que si no se justifica desde la economía, ninguna acción de protección en la gestión del recurso hídrico se puede generar, ya que ni el gobierno ni los beneficiarios de la cuenca tanto por consumo doméstico como por actividad económica van a estar de acuerdo en proteger y limitar el uso del agua si están arriesgando su sostenimiento y su beneficio económico.

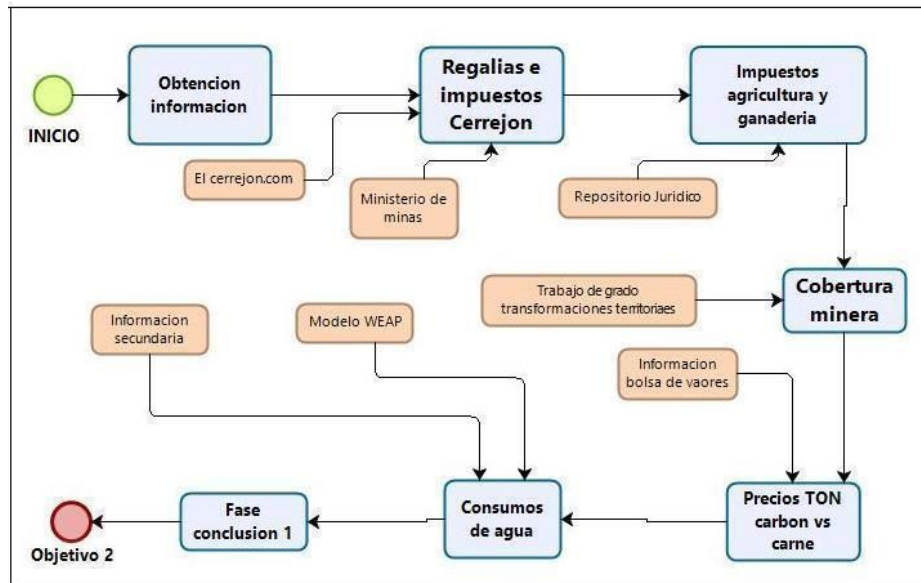


Figura 4. Diagrama de flujo Fase 2
Fuente. Autores

8. RESULTADOS Y DISCUSIONES

8.1 RESULTADOS FASE 1

La cuenca del río Ranchería se divide en 5 subcuencas, de esta forma se definen variables de forma individual, para posteriormente realizar un análisis concluyente de la cuenca. Es importante definir el porcentaje de cada subcuenca en términos de área para así mismo interpretar los aportes de cada una.

Una vez identificadas la subcuencas, se procede a definir las variables que alimentarán el software de modelación WEAP, para cada subcuenca las variables serán:

- Área de cada subcuenca: A través del mapa de subcuencas con ayuda del software arc-GIS se define el área y su correspondiente porcentaje representativo en la cuenca (Ver anexo 1).
- Porcentaje de cobertura por cultivo: Con información actualizada de uso de suelo se determinó el porcentaje representativo de cada cobertura vegetal dentro de la cuenca y por ende dentro de cada subcuenca (Ver anexo 2).
- Coeficiente de cultivo (Kc): El coeficiente de cultivo definido bajo el método de la FAO para cada tipo de cultivo y cobertura de suelo representativo para la cuenca y sus respectivas subcuencas. (Ver anexo 3).
- Precipitación: Información obtenida a través de la red de estaciones meteorológicas del IDEAM para las estaciones aferentes a la cuenca (Ver anexo 4).
- Temperatura: Información obtenida a través de la red de estaciones meteorológicas del IDEAM para las estaciones aferentes a la cuenca (Ver anexo 5).
- Humedad Relativa: Información obtenida a través de la red de estaciones meteorológicas del IDEAM para las estaciones aferentes a la cuenca (Ver anexo 6).
- Brillo Solar: Información obtenida a través de la red de estaciones meteorológicas del IDEAM para las estaciones aferentes a la cuenca (Ver anexo 7).

- Demanda de recurso hídrico anual: Información calculada con respecto a la población urbana y rural con respecto a lo indicado por el RAS, luego contrastada con información obtenida de los acueductos de la región (Ver anexo 8), la demanda minera se determinó a partir de la información disponible en la página web de El Cerrejón y la demanda agrícola se determinó a través de una revisión bibliográfica referente a las condiciones de la región.
- Caudal: Para obtener la información necesaria que permitiera calibrar el modelo fue necesario realizar una transposición de caudales con base a la información referente a la estación código 15067050 debido a la inconsistencia en los datos de la estación 15067180, es importante la información de caudal a la desembocadura de la cuenca debido al lenguaje y requisitos del software para la calibración y modelación (Ver figura 7 y 2).

Calibración: Después de realizada la transposición de caudales entre las 2 estaciones anteriormente mencionadas se procedió a calibrar el modelo desde el software WEAP, se usó una calibración tipo PEST, este tipo de calibración permitió estimar los parámetros necesarios que de manera concluyente demostraron la fidelidad de los datos modelados con los datos ingresados por los investigadores.

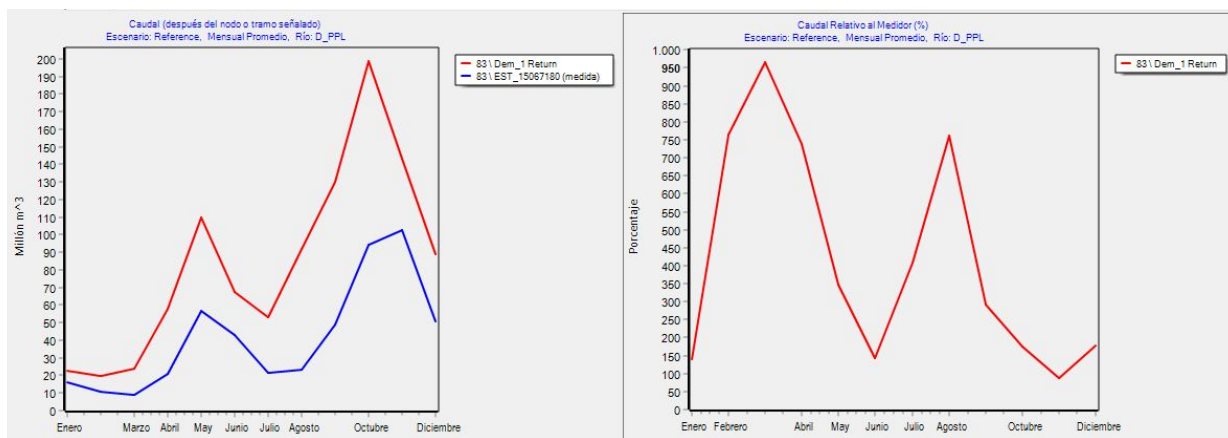


Figura 5. Resultados calibración tipo PEST
Fuente. Autores

En la figura 5 en la gráfica del costado izquierdo se puede notar la línea azul como los datos ingresados para la calibración del modelo, la línea roja muestra los datos modelados, se puede ver de qué manera ambas líneas siguen la tendencia de dos picos, poseen una forma muy semejante, la diferencia en la cantidad de agua que representa cada línea hace referencia a el aumento de caudal que tiene la línea roja al estar en la desembocadura de la cuenca.

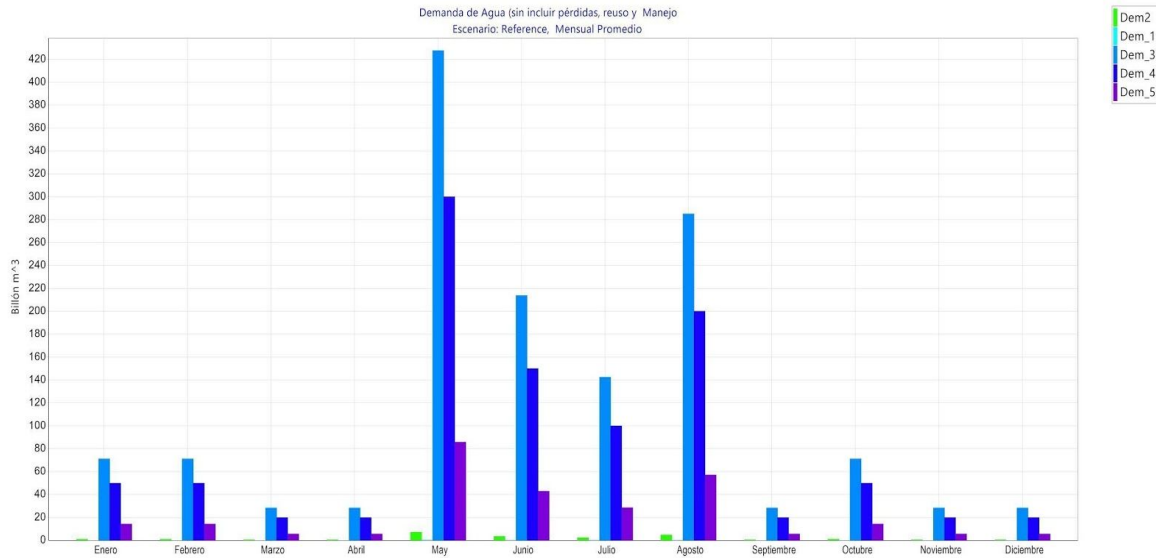


Figura 6. Demanda hídrica en millones de m³ por subcuencas del río Ranchería.
Fuente: Autores

La figura 6 se puede entender en función de los colores con respecto a la amplitud de la demanda anual lo que se resume en:

- Demanda de la subcuenca 1: 5 Mm^3 , esta subcuenca se caracteriza por poseer la mayor falta de humedad ya que está ubicada a la desembocadura de la cuenca, allí no se llevan a cabo actividades agropecuarias o mineras de amplia extensión, debido a su falta de humedad y a su área, presenta la menor demanda puesto que no es atractiva para llevar a cabo actividades económicas..
- Demanda subcuenca 2: 10 Mm^3 , esta subcuenca ubicada al costado noroccidental de la cuenca presenta la segunda demanda de menor magnitud en la cuenca puesto que una parte de su área presenta gran aridez por lo cual las actividades de índole agropecuaria se realizan en su zona sur, limitando así la demanda de agua en esta subcuenca
- Demanda subcuenca 3: 420 Mm^3 , esta subcuenca ubicada en sector oriental de la cuenca presenta la mayor demanda de toda la cuenca puesto que en esta subcuenca está ubicada la extracción minera de El Cerrejón, además de que por su extensión y condición no árida en gran parte de la subcuenca presenta actividades agropecuarias.
- Demanda subcuenca 4: 300 Mm^3 , esta subcuenca se caracteriza por presentar condiciones climatológicas y de suelo que permiten el desarrollo de la agricultura y la ganadería extensiva por ende allí se alojan los consumos más importantes en materia agropecuaria.
- Demanda subcuenca 5: 80 Mm^3 , esta subcuenca se caracteriza por su baja alteración antropogénica ya que en su mayoría está poblada por bosques densos y arbustales, por ende su demanda hídrica se resume a los requerimientos del bosque

En la figura 6 se representa de forma gráfica las demandas en la cuenca, por subcuencas, evidenciando así una demanda en la subcuenca número 3 de 420 Mm^3 siendo esta la de mayor área y en donde se encuentra la mina El Cerrejón. Las principales demandas cubiertas se representan en los meses de Mayo, Junio, Julio y Agosto, meses en los cuales se requiere gran cantidad de agua para la siembra de cultivos, principalmente arroz y algodón, cultivos que requieren más cantidad del recurso debido al regadío por inundación que requieren estos cultivos. Las subcuencas que menos recurso demandan son la 1 y 2, de 5 Mm^3 y 10 Mm^3 respectivamente, esto se debe a el bajo porcentaje de cultivos que se tienen en estas subcuencas, teniendo en cuenta que están ubicadas más al norte de la cuenca, en donde se tienen condiciones más secas y menos aptas para los cultivar.

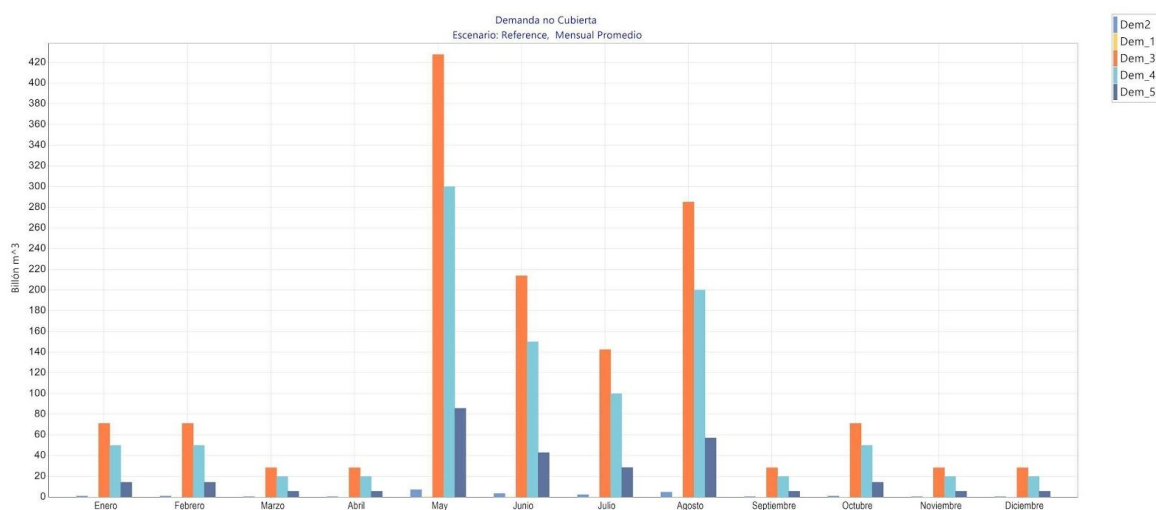


Figura 7. Demanda hídrica NO CUBIERTA en Mm^3 por subcuencas del río Ranchería.
Fuente: Autores

En la figura 7 se evidencia una demanda insatisfecha significativa en la subcuenca 3 de 1425 Mm^3 , en comparación con la subcuenca 1 que presenta una demanda no cubierta de 1.19 Mm^3 , en donde por su extensión y actividades económicas extractivas, la subcuenca 3 es la subcuenca que menos satisface la demanda, en la que menos se presenta este fenómeno es en la 1 debido a que en la mayoría de la subcuenca se tienen arbustales (ver Anexo 2.4), en general 3 de las 5 subcuencas presentan demanda no cubierta, lo que sugiere realizar un control del recurso hídrico, regulando el agua mediante sistemas de riego, suministrando agua a aquellas subcuencas que tengan gran cantidad de demanda no cubierta como lo son las subcuencas 5, 4 y 3.

Dichas subcuencas (3, 4 y 5) son las que están más adentro del departamento y las que más cercanía tienen con la sierra nevada de Santa Marta, presentan terrenos poco áridos, aptos para la realización de actividades económicas como la agricultura y la ganadería, debido al tipo de cultivos que prevalecen en las subcuencas, arroz, algodón y palma de aceite (cultivos que requieren gran cantidad del recurso), las subcuencas 1 y 2 presentan condiciones de desabastecimiento, adicionando que en la subcuenca 3 se encuentra ubicada la mina el cerrejón quién consume 17.000 m^3 , usando gran parte del recurso disponible para toda la cuenca.

Con la información obtenida producto del balance hídrico realizado en la herramienta WEAP se puede denotar de qué manera fluctúa el comportamiento del recurso hídrico dentro del área de estudio, dividiendo el terreno en subcuencas y analizando las condiciones que presentan cada una.

La siguiente fase de estudio, que corresponde al análisis comparativo, teniendo como foco la presión de cada actividad económica representativa (minería, agricultura y ganadería) sobre el recurso hídrico, para relacionarlo con aspectos de interés económico como rentabilidad de las actividades y sostenibilidad económica gubernamental a nivel departamental y nacional con respecto a los tributos reflejados en cada actividad, definiendo el costo de oportunidad que sufre el departamento al no contar con el recurso, al entrelazar estas dos realidades se podrá definir respecto al recurso hídrico (fase 1) y respecto a la economía (fase 2) qué actividad puede resultar mejor para los habitantes del territorio y para la cuenca como tal. Como se muestra en la figura 12, la mina El Cerrejón presenta un pequeño porcentaje de área con respecto a las demás actividades realizadas en la cuenca, sin embargo esta actividad minera genera los mayores consumos del recurso hídrico (ver figura 18)[3]

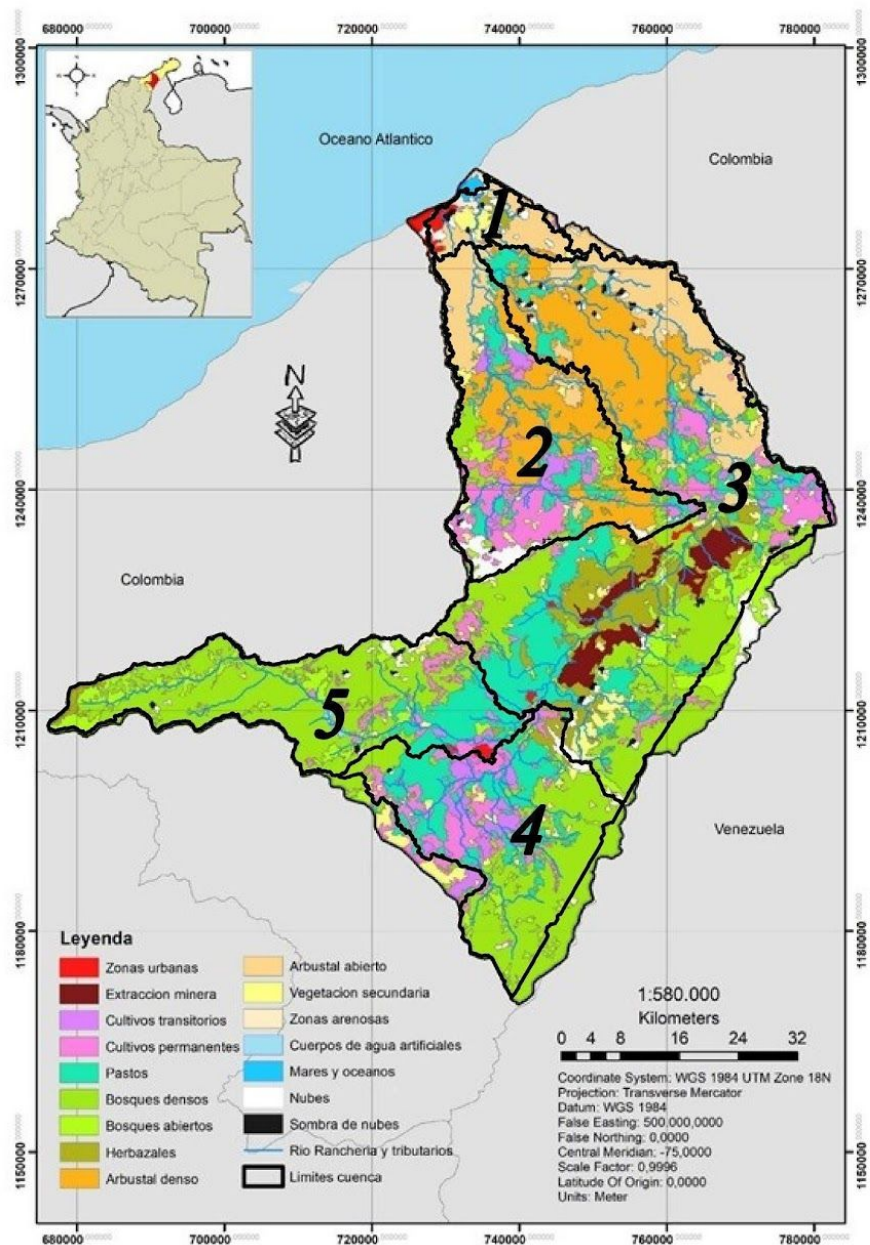


Figura 8. Usos del suelo en la cuenca del río Ranchería..

Fuente: Autores basados en Ballen – Barrios 2018 [8]

La figura 8 muestra la clasificación de usos del suelo presentes en la cuenca, clasificado a su vez por subcuencas, evidenciando las subcuencas 3, 4 y 5 como focos de realización de las actividades productivas (siendo la subcuenca 3 la única con presencia de actividad minera), es allí en donde se presencian cultivos y existe la mayor área destinada a pastos (área dedicada a ganadería) , sin embargo es la subcuenca 2 quién posee la mayor área destinada a cultivos.

Dando una contextualización global de la problemática que se tiene en la cuenca del río Ranchería, a nivel mundial se presentan desabastecimientos hídricos y sus consecuencias, estas problemáticas ambientales han tenido repercusiones en la sociedad, a tal punto que el

desabastecimiento ha cobrado vidas incluso en menores, es por esto que las Naciones Unidas (ONU) han propuesto 17 objetivos de desarrollo sostenible a nivel mundial para ser cumplidos en el año 2030, por lo que los objetivos que son prioridad son:

1.Fin de la pobreza

2.Hambre cero

6.Agua limpia y saneamiento

Con base en estos objetivos se hace un llamado a las autoridades competentes para garantizar desde la seguridad alimentaria evocando sus esfuerzos y sus recursos naturales en actividades económicas que propendan por el cumplimiento de los objetivos 1,2 y 7, pues Colombia debe estar en sincronía con las soluciones a las problemáticas presentadas a nivel mundial que comparten características con las propias, es por esto que se relacionan de manera conjunta estos objetivos, pues garantizar programas de manejo del recurso hídrico tendría como repercusión principal el aumento de la disponibilidad del recurso, que sería usado para optimizar sus actividades productivas (que se basan en productos alimentarios) y de esta forma se potencializa la agroindustria, el apoyo gubernamental es indispensable para la realización de estos objetivos incentivando por medio de políticas que favorezcan los productos colombianos, reduciendo así la cantidad de importación y aumentando la producción nacional.

8.2 RESULTADOS FASE 2

Entre el año 2012 y 2015 tiempo en el que se realizó el trámite de desviación del arroyo Bruno se otorgaron alrededor de 27 aprobaciones a diversos trámites ambientales llámese concesión, permiso, etc. CORPOGUAJIRA siendo la entidad encargada de la gestión ambiental de la cuenca del río Ranchería otorgó estas 27 aprobaciones a la empresa Cerrejón limited, dando el permiso para aprovechar las aguas superficiales de la cuenca, también para disponer sus vertimientos en los cuerpos de agua de dicha cuenca, esto a nivel hídrico, también existe una variedad de permisos de aprovechamiento forestal y de emisiones atmosféricas otorgados en el periodo anteriormente mencionado [4]. Esta información válida lo anteriormente mencionado acerca del desabastecimiento del recurso hídrico mencionado a lo largo de la fase 1, ya que la existencia de este número de concesiones de agua superficiales además de los permisos para disposición vertimientos muestran la manera en que es necesario hacer una justa retribución y/o compensación a la cuenca. El consumo de agua es notoriamente alto por esta actividad económica, por lo tanto, es necesario el enunciamiento de un instrumento que permita responsabilizar a cada parte interesada del área de estudio sobre su consumo del recurso hídrico.

Desde la Serranía del Perijá, límites con Venezuela, hasta el río Ranchería, se extienden las 69.000 hectáreas que el Gobierno nacional concedió para exploración y la explotación de yacimientos de carbón, en la actualidad se explotan aproximadamente 13.000 hectáreas, pese a este nivel de explotación cercano al 18% del territorio concedido la segunda extracción carbonífera más grande del mundo se permite producir 33.2 millones de toneladas de mineral al año, logrando así un total acumulado de 630 millones desde el inicio de operación [4].

Estas cifras para nada irrisorias suponen el 50% del PIB del departamento de La Guajira, representado en regalías que en el actual esquema de distribución se reparten desde la administración departamental, reduciendo así a la mitad las regalías que estaban acostumbrados a recibir los municipios antes del año 2012 donde se llevó a cabo dicho cambio en el modelo de distribución, este modelo previo de dispersión de regalías fomento la creación de nuevos municipios como es el caso de Albania un municipio pequeño desligado de la jurisdicción de

Maicao para funcionar como alojamiento del personal de la compañía la cual emplea directamente a más de 6000 personas de las cuales un 65% es oriundo de la región [4].

Uno de los proyectos que tiene lugar en la región en este momento es la desviación del arroyo Bruno, según Cerrejón y CORPOGUAJIRA, el proyecto será una desviación de 700 metros del arroyo para protegerlo de la explotación del tajo minero, este proyecto se realiza con la expectativa de aumentar la producción de 32 a 40 millones de toneladas anuales y para 2033 a 60 millones de toneladas, el descontento de la comunidad no hizo esperar cuando se anunciaron estas medidas, CORPOGUAJIRA a fecha de 2016 emite un comunicado titulado “No se aprueba permiso para desviación del arroyo Bruno”, a lo cual El Cerrejón responde con una serie de archivos publicados en su sitio web con toda la información de los permisos ya aprobados por la autoridad ambiental de la región [5].

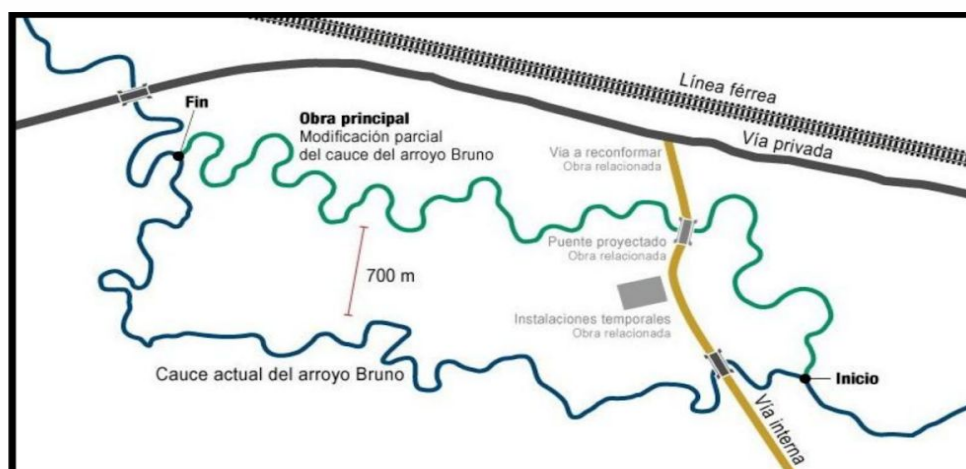


Figura 9. Plan de desviación del arroyo Bruno

Fuente. El Cerrejón [6]

Esta ampliación del frente minero permite aumentar su horizonte de actividad y asimismo sus ganancias las cuales en este momento son significativas..

- Entre 1985 y el año 2011, la mina de carbón del Cerrejón, produjo 508,8 millones de toneladas, y generó US\$2.006 millones en regalías. Por este rubro, en el 2011, le giró a la nación y a La Guajira US\$ 336,6 millones [7].
- Las exportaciones de carbón provenientes de la mina Cerrejón, ubicada en La Guajira y considerada la más grande del mundo a cielo abierto, alcanzaron los 34,2 millones de toneladas en 2014, un 2 % más que en el 2013, lo que la compañía minera calificó como un récord histórico [7].

Regalías e impuestos pagados 2002-2017 (expresado en miles de millones)			
Año	Regalías	Impuestos	Total
2002	102	170	272
2003	102	40	142
2004	178	99	277
2005	231	491	722

2006	232	537	769
2007	243	405	648
2008	476	277	753
2009	594	931	1.5 billones
2010	321	170	1 billón
2011	545	602	1.1 billones
2012	576	1.207	1.8 billones
2013	428	650	1 billón
2014	461	392	853
2015	465	542	1 billón
2016	381	669	1 billón
2017	593	991	1.6 billones
Total	\$5.9 billones	\$8.7 billones	\$14.7 billones

Tabla 1. Regalías e impuestos pagados por El Cerrejón 2002-2017.

Fuente. El Cerrejón [6].

Al relacionar esta información de aporte estatal con las coberturas y uso de suelo de la cuenca para el sector minero se tiene (ver figura 16):

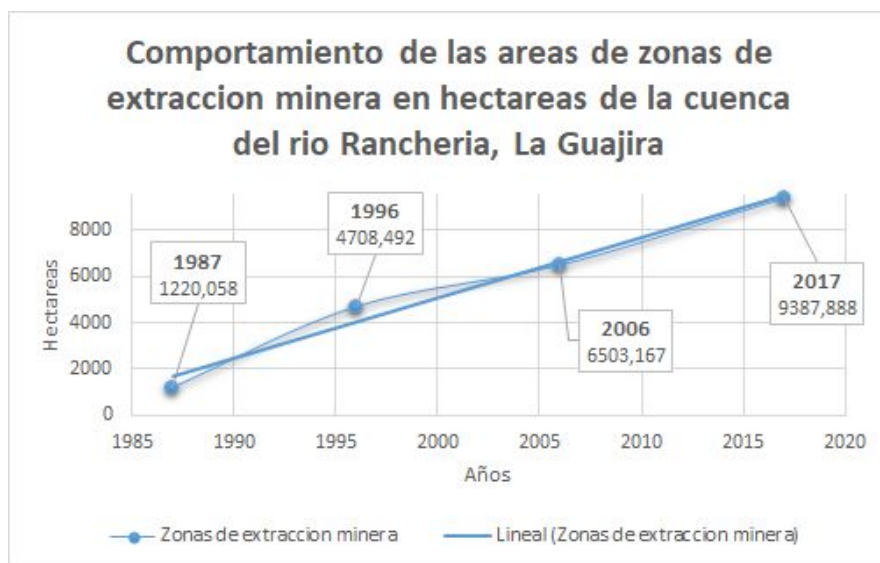


Figura 10. Tendencia de la zona de extracción minera

Fuente. Ballen – Barrios 2018 [8]

Los dividendos de compensación estatal para la actividad minera de El Cerrejón se pueden catalogar a un rendimiento de compensación estatal anual por hectárea de producción, el área total de la concesión es de 69000 hectáreas, de las cuales solo se explotan alrededor de 13000, por esta razón, los dividendos públicos que se deben pagar año fiscal vencido se calculan de la producción total anual de carbón ya que esta es la forma en la que la empresa obtiene utilidades, a pesar de esto es válido aclarar que las utilidades por hectárea fueron calculados basados en el total del área de la concesión ya que así no se presente actividad minera Cerrejón aprovecha esta área restante de diferentes maneras como con su vía férrea, el acto de no producir carbón en esa zona no los exenta de compensar al estado por el uso de la misma.

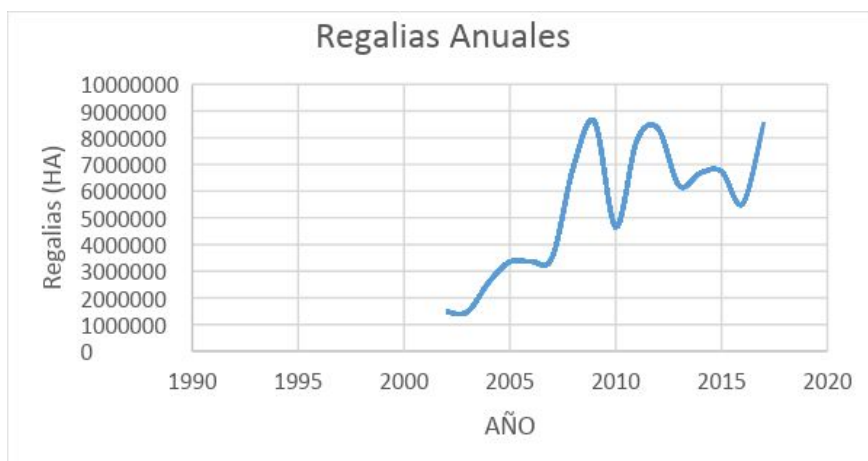


Figura 11. Comportamiento de las regalías anuales por hectárea

Fuente. Autores

En la figura 14 se pueden ver los beneficios económicos obtenidos por el departamento de La Guajira al albergar a la extracción minera, estas regalías es válido aclarar son rubros diferentes a los impuestos que debe pagar esta extracción al estado colombiano ya que de esta manera es como se alimenta el heraldo público.



Figura 12. Impuestos por hectárea (ha)

Fuente. Autores

En la figura 15 podemos observar los beneficios que reciben los fondos del estado por cada hectárea de concesión, teniendo en cuenta que el promedio de impuestos es de 74' millones de pesos anuales por hectárea concesionada, el beneficio estatal es muy importante como para que el estado colombiano piense siquiera en un cambio del uso del suelo.

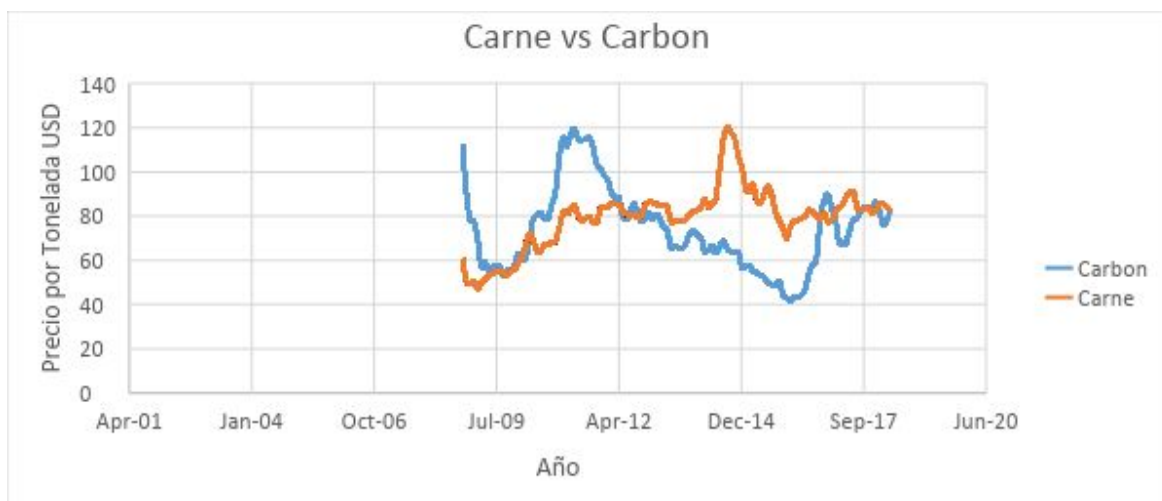


Figura 13. Precio del carbón vs precio carne en toneladas

Fuente. Index mundi [9]

En la figura 16 se expresa la manera en la que la industria cárnica posee una variación de precio menos cambiante que el carbón, ya que el negocio de la industria alimentaria se mantiene

constante en el tiempo, mientras que la producción de carbón puede fluctuar por su dependencia a demás productos como por ejemplo el precio del petróleo, si el petróleo se mantiene barato por un margen de tiempo considerable, las personas empiezan a optar por usar petróleo en lugar de carbón para su producción energética, aun así el precio de la carne y el carbón se mantienen muy similares en su cotización por lo cual no se puede partir de este ítem para hacer una diferenciación en que producción conviene más a la economía nacional.

Los ganaderos de la región se ven expuestos a un esquema de impuestos compuesto por impuesto a la renta cuando aplique, predial de sus terrenos, valorización e IVA. Estos dividendos son los impuestos comunes para las actividades productivas colombianas, en la mayoría de los casos los agropecuarios presentes en la cuenca no tienen control de cuánta agua gasta y cuánto deben pagar, puesto que debido a la ausencia de un servicio prestador similar a un distrito de riego los agricultores y ganaderos se ven obligados a alimentar de agua sus actividades de manera un artesanal ya sea a manera de pozos o de distritos de riego artesanales construidos por ellos, por lo cual no existe un control estatal en cómo se debe recompensar al estado por el uso del agua, lo cual es a todas vistas justo ya que el estado no está garantizando el recurso para la producción agropecuaria.

- Marco legal de impuestos aplicado al sector ganadero:

Para entender el esquema de impuestos que deben pagar los ganaderos de bajo talento donde no se aplique el impuesto a la renta se debe empezar por explicar el funcionamiento del impuesto predial unificado [10]:

Marco actual:

- Deriva del Plan Nacional de Desarrollo 2010 – 2014, que introdujo modificaciones a la Ley 44 de 1990.
- Estableció rangos de tasas entre 5x1000 y 16x1000 para las propiedades de los estratos 4, 5 y 6, y para los estratos 1, 2 y 3 la tasa se mantendría entre 1x1000 a 16x1000 y los lotes urbanos baldíos una tasa de 33x1000.

Teniendo en cuenta la revisión jurisprudencial anteriormente consignada referente a los impuestos por posesión de terreno que deben pagar los ganaderos, el cual hace pagaderos 33 COP por cada 1000 COP que este valorado su predio o en otras palabras el 3.3% de la valoración total del terreno, vemos que aunque sea una actividad que por precios a tonelada sea más rentable que el carbón, al erario público no le es rentable como la concesión, ya que aunque fueran proporciones comparables no se asemeja en nada al dinero que debe pagar El Cerrejón en regalías e impuestos.

El cerrejón aporta a la economía no sólo del departamento de La Guajira sino de Colombia, por lo que se convierte en foco de atención económica y en particular por su principal fuente de aportes, la mina a cielo abierto más grande del mundo “El Cerrejón”, sin embargo, el departamento presenta un abandono estatal en los demás sistemas productivos y en la parte ambiental, sin embargo, el departamento no es consciente del valor ambiental de los servicios ecosistémicos que presta la cuenca, desconoce el valor costo-beneficio ambiental de la extracción carbonífera que allí se está llevando, dando importancia sólo a la parte monetaria a corto y mediano plazo sin tener en cuenta los daños ambientales generados ni sus consecuencias a largo plazo, es por esto que aquí iniciará

un análisis a similitud como el de los impuestos con el agua usada por hectárea tanto en la producción ganadera como en el carbón.

Las actividades ganaderas necesitan agua y pasto para el sostenimiento de las reses en el periodo de lactancia y engorde por lo cual los animales todos los días deben ser hidratados para obtener carne y leche de calidad, un bovino adulto consume entre un 8-10% de su peso en agua. Una vaca lechera puede consumir entre 38 y 110 litros de agua por día (l/d), un bovino para carne de 26 a 70 l/d. Las hembras preñadas consumen más agua que las vacías, y las lactantes más que las secas [8]. Teniendo en cuenta estos promedios en el consumo de reses se puede ver que la ganadería es una actividad que necesita de bastante agua para su mantenimiento a su vez que de espacio puesto que, el número de reses por hectárea varía de acuerdo a la zona, el estado de lluvias, tipo de forraje, suplementación y edad y peso del animal. En fincas tradicionales del trópico de Colombia, se encuentra entre 1.5 y 1.8 bovinos adultos de 400 a 450 kilos. En predios tecnificados se pueden hallar de 3 a 4 reses [11].

	Reses		Agua		Total	
	Verano	Invierno	Verano	Invierno	Invierno	Verano
Ganado leche	1.5 res/ha	1.8 res/ha	110 l/d	38 l/d	68,4 l/d*ha	165 l/d*ha
Ganado cárnico	1.5 res/ha	1.8 res/ha	70 l/d	26 l/d	46,8 l/d*ha	105 l/d*ha

Tabla 2. Consumos para ganado cárnico y lechero

Fuente. Autores, con base en CORPOGUAJIRA [3]

La presión hídrica que recibe el río Ranchería por conceptos de ganadería a la luz de estas cifras parece mucha, aunque nada comparable con la presión representada por la mina El Cerrejón, el caudal concesionado por CORPOGUAJIRA es de 195 L/s (equivalente a 6,1 millones m^3 /año). Cabe destacar que durante 2010 sólo se captaron 548 mil m^3 , que representan el 9% del volumen autorizado por el permiso de captación, esto se debe principalmente al uso de aguas de baja calidad [12].

- Consumo del recurso hídrico por El Cerrejón

Aunque El Cerrejón opera muy por debajo de lo concesionado, no necesariamente significa que sea poco, ya que hablando de una zona desértica del país estos consumos son bastante altos.

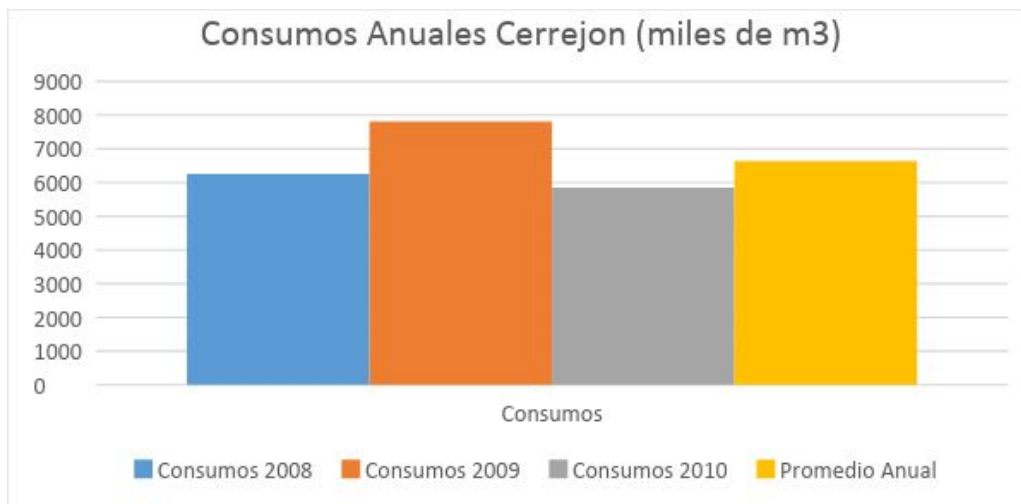


Figura 14. Consumo de agua anual de El Cerrejón 2008-2010

Fuente. Autores basados en Cerrejón [6]

Como se aprecia en la figura 17, año a año El Cerrejón consume cantidades de agua significativas, diferenciadamente de la época del año la minera necesita la misma cantidad de agua para solventar sus actividades, por lo cual en el verano e invierno se debe dar prioridad a esta para poder continuar con la producción.

- Consumo hídrico sector ganadero (lechero y cárnico) comparado con minería

Ahora bien, hablando en términos de agua el comparativo entre las actividades ganaderas de la región y la mina El Cerrejón es impensado como se está desangrando la cuenca y la presión que se está ejerciendo para alimentar a este gigante extractivo.

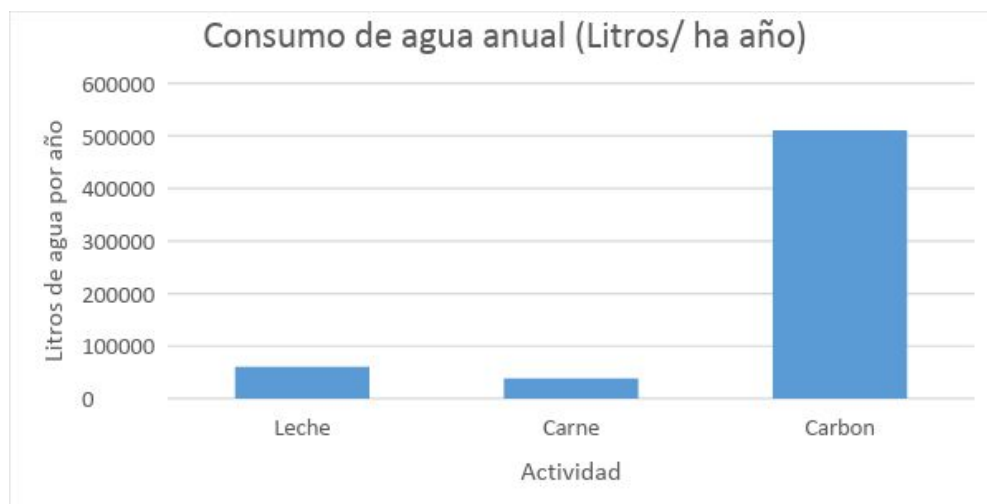


Figura 15. Consumo de agua anual por hectárea para sector lechero cárnico y carbonífero

Fuente. Autores basados en Corpoguajira [3]

Como se puede apreciar en la figura 18, los consumos por hectárea productiva distan mucho de ser similares, el sector lechero que es el que más consume agua dentro de la ganadería es solo un 11% de lo usado por el sector carbonífero, así que acá es donde el estado como garante de esta concesión y CORPOGUAJIRA como ente regulador de la misma deben preguntarse, ¿vale la pena recibir tantas regalías e impuestos que son invertidos en proyectos que no fomentan el desarrollo del departamento (represa El Cercado), permitiendo el detrimento del ambiente y el recurso hídrico para futuras generaciones solo para alimentar la corrupción colombiana?, es válido aclarar que otro sería el panorama si estas actividades en realidad permitieran el crecimiento del departamento donde El Cercado no sólo controle el caudal del río sino que además de aliviar la deshidratación en tiempos de sequía le presente un modelo de riego un real distrito a los agricultores y ganaderos de la región que permita que el PIB del departamento no sea monopolizado únicamente por actividades extractivas sino que por el contrario las personas del común puedan realizar sus actividades rurales todo el año sin el temor de invertir un capital en una vaca que morirá por el fenómeno de El Niño. El estado debe ser transparente con el uso del erario público en pro de mejorar la situación de la cuenca ya que como anteriormente se ha dicho tiene un potencial inmenso para la realización de actividades que puedan suponer seguridad alimentaria para Colombia en el corto, mediano y largo plazo.

Finalizada la fase 2 se puede ver claramente como la situación económica e hídrica de la cuenca alcanzan su máximo punto de comparación, puesto que para el funcionamiento del departamento se ha hecho imperante la existencia de las actividades extractivas las cuales son las que ejercen sobre presión en el recurso hídrico en especial en la subcuenca número 3 (ver figura 9) esta situación presenta un estado crítico en el terreno ya que como se pudo ver en la fase 1 la explotación del recurso hídrico genera una demanda insatisfecha más que considerable (ver figura 10), en la fase 1 se describe que una de las causas de la sobreexplotación podría ser el cambio en las coberturas del suelo que han sido evocadas mayormente a la agricultura y a la ganadería (ver anexo 2) pero a lo largo de la fase dos se denota como el consumo de agua relacionado al sector agropecuario no puede siquiera rivalizar con la minería extractiva, por ende se puede deducir que las actividades de minería son las que tienen mayor responsabilidad en el apartado de la explotación del recurso hídrico.

La construcción de la represa El Cercado afecta de manera directa el comportamiento hidrológico, económico y social en la cuenca, pues allí se asentaron tribus indígenas como los wayúus, wiwa, yupka, kowi, arahuacos, y konkwama, quienes sufrieron desplazamientos y se vieron afectados por la cantidad del recurso hídrico que disponían para su supervivencia, allí el índice de mortalidad infantil era elevado, según el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) la cantidad del recurso disponible para el consumo de la población per cápita es de 0,7 litros/día, mientras que el consumo de El Cerrejón es de 17'000.000 litros/ día. Es por esto que urge una adecuada gestión del recurso hídrico y proponer la metodología pertinente para los inconvenientes socioambientales presentes en la cuenca. [38]

La demanda insatisfecha en las 5 subcuencas que componen el área de estudio son un problema fundamental que debe ser abordado, ya que, el no contar con esta agua altera los procesos ambientales , además de suponer un capital que deja de percibirse, puesto que si se tuviera esta agua en la cuenca podría ser usada en actividades agropecuarias o minero energéticas, suponiendo así un mayor beneficio, por ende esta demanda insatisfecha presenta un costo de oportunidad que no está percibiendo,de esta manera se articulan las dos dimensiones principales del estudio (hidrología y economía), la demanda insatisfecha expresada en un promedio mensual para las 5 subcuencas, en el caso hipotético de ser satisfecha por algún distrito de riego como el previsto en la represa El Cercado o también por extracción de agua subterránea, puede cubrir los requerimientos hídricos para llevar a cabo actividades económicas que a su vez presentarían rentabilidad tanto para el sector público como privado, este apartado supondrá 3 escenarios para saber cuánto es el costo de oportunidad si la demanda insatisfecha se diera para 3 actividades (producción de leche, de carne y de carbón), a sabiendas que ya se cuenta con los requerimientos hídricos para estas tres actividades.

Este apartado se inició analizando el consumo mensual por hectárea para cada actividad, al relacionarla con la demanda insatisfecha, se puede saber cuántas hectáreas de la actividad productiva puede sostener esta cantidad de recurso, luego se procede a determinar qué cantidad de producto puede salir de las hectáreas productivas, para finalizar relacionando la cantidad de producto con su respectivo precio histórico. Este resultado expresa el monto económico que se está dejando de percibir debido a la demanda insatisfecha en la cuenca.

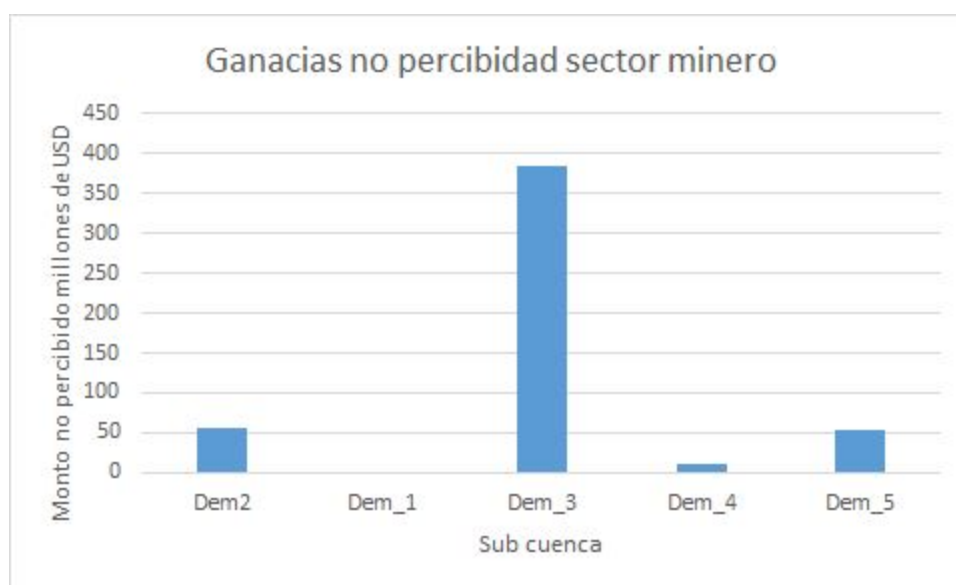


Figura 16. Ganancias no percibidas sector minero

Fuente. Autores

En la figura anterior se puede apreciar el costo de oportunidad en el hipotético caso de que la demanda insatisfecha de agua se usará en actividades mineras únicamente, supuesto que no puede ser cumplido ya que no toda la extensión de las subcuencas cuenta con condiciones para la

actividad minera, aunque se puede apreciar en este escenario con la actividad que más demanda recurso hídrico el monto más elevado en la subcuenca 3 alcanza casi los 400 millones de dólares USD.

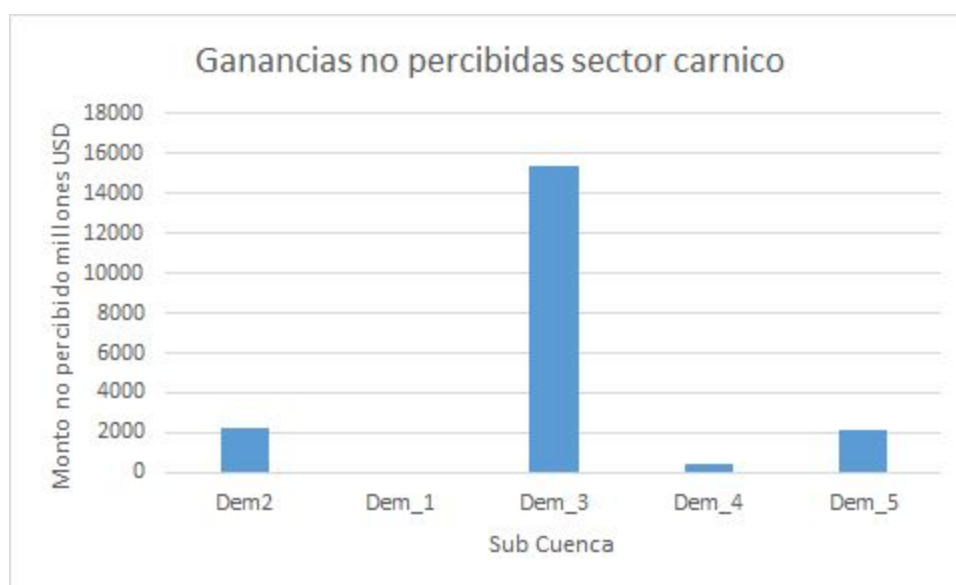


Figura 17. Ganancias no percibidas sector cárnico

Fuente. Autores

La figura anterior representa el costo de oportunidad si la demanda insatisfecha fuera usada únicamente en el beneficio del sector cárnico, cabe aclarar que este monto se percibe en promedio cada 24 meses puesto que es el tiempo medio en el que un bovino crece lo suficiente para disponer de su carne, al ser una actividad que no demanda tanta agua como el carbón puede dar lugar a un mayor hectareaje y por ende a mayores beneficios económicos.

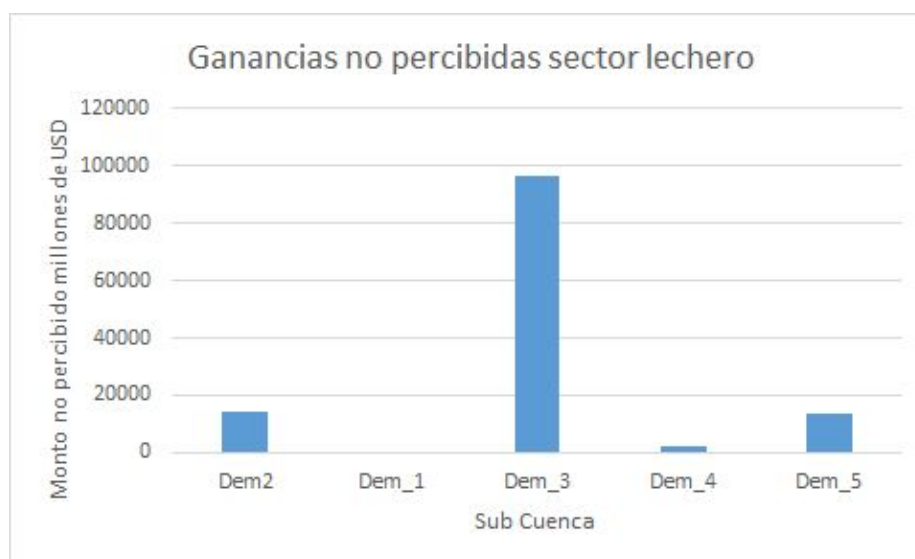


Figura 18. Ganancias no percibidas sector lechero

Fuente. Autores

La figura anterior expresa el costo de oportunidad si la demanda insatisfecha fuese usada únicamente para actividades lecheras, se puede denotar lo alto que es debido a la poca cantidad de agua que demanda esta actividad, teniendo en cuenta que esta resulta más rentable ya que las vacas producen cerca de 14 litros de leche diarios y no se debe esperar un tiempo tan alto como los 24 meses en el sector cárnico

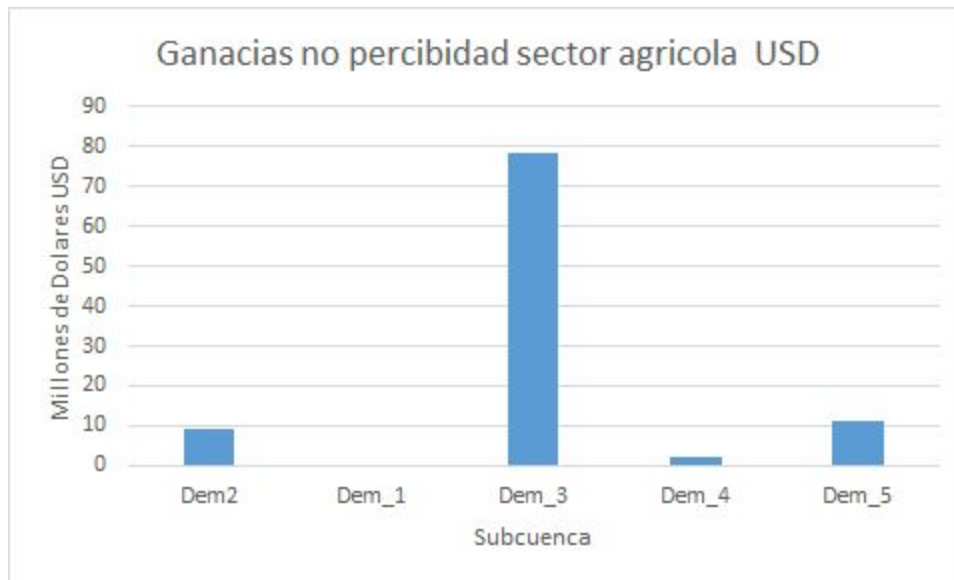


Figura 19. Ganancias no percibidas sector agrícola

Fuente. Autores

La figura 19 expresa el costo de oportunidad referente al sector agrícola si la demanda insatisfecha fuese usada para la producción de arroz, este cultivo el principal y más abundante de la cuenca, a su vez es uno de los cultivos con una demanda más alta de agua debido a que este cultivo necesita estar inundado a diferencia de otros como el maíz.

Es importante contemplar que mina El Cerrejón perderá su importancia como actividad económica de exportación en el futuro próximo, pues para el año 2030 y siguiendo con el informe Brundtland y los objetivos de desarrollo de las Naciones Unidas (ONU), mundialmente se pretende dejar a un lado los combustibles fósiles para emplear en su lugar energías renovables, siendo este el objetivo de desarrollo 7 “Energía asequible y no contaminante” y contemplando también el objetivo 13 “Acción por el clima”, es importante tener planes de desarrollo que puedan suplir los ingresos tributarios que se generan a raíz de la explotación y exportación de en este caso la cuenca del río Ranchería de carbón, pues para el 2030, no se usaría carbón, por ende la implementación de energías renovables en la Guajira deberá ser un foco de interés. Aquí nace la relevancia de potenciar el sector agropecuario para suplir los ingresos tributarios percibidos por parte de El Cerrejón.

Ahora bien, continuando con la articulación entre el uso del software WEAP y la dimensión económica del estudio, se procedió a modelar 2 escenarios que suponen el diseño de un distrito de riego y la construcción de un acueducto, estos escenarios se realizaron con el fin de observar las alternativas de mejora que podrían desligar a la cuenca de su dependencia económica a las actividades de minería extractiva.

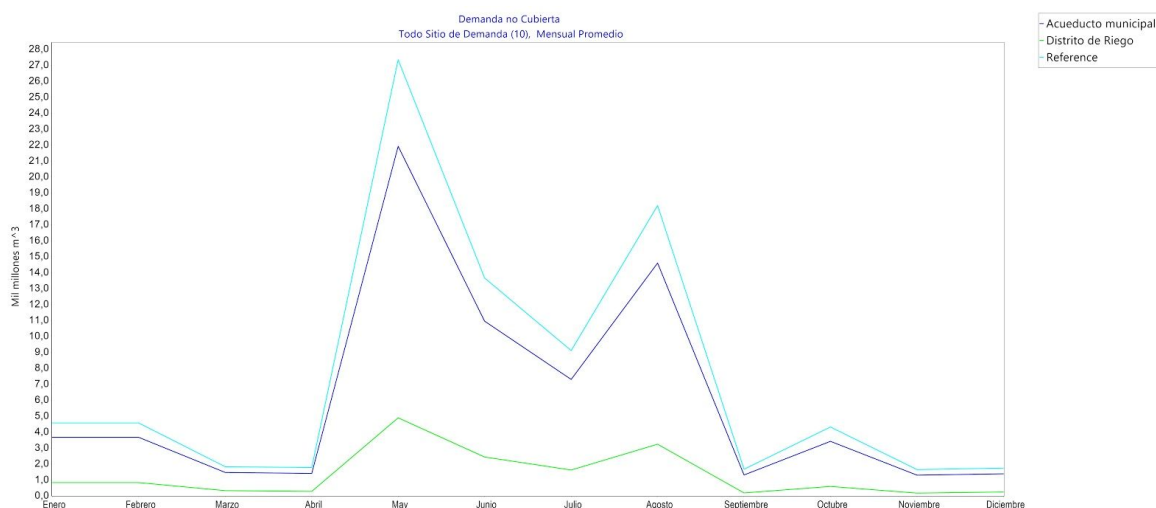


Figura 19. Demandas insatisfechas en los diferentes escenarios

Fuente. Autores

En la gráfica anterior se puede observar la demanda insatisfecha luego de modelados los dos escenarios anteriormente descritos, el primero representado por la línea de color morado refiere a la construcción de un acueducto municipal que permita abastecer completamente a la población de la cuenca, por lo cual con el recurso disponible solo se deberá abastecer la demanda agropecuaria, esta disminución permite denotar como se reduce la demanda insatisfecha de 27 Billones de m^3 a 22 Billones de m^3 . En un segundo escenario se puede apreciar cuál sería la demanda insatisfecha si se tuviera un distrito de riego que distribuye 4 L/s, este valor fue tomado debido a que el caudal de la represa de Prado Tolima está diseñado con estos estándares y al ser ambas cuencas similares en cuanto a climatología y a agricultura se decidió simular con este caudal, esta cantidad de recurso hídrico es más que suficiente para abastecer la demanda agrícola de la cuenca, por lo cual solo se debería usar el agua para satisfacer el consumo de los habitantes y así la demanda insatisfecha se reduce a un máximo de 6 billones de m^3 .

Anteriormente se podían notar en las figuras 16 y 17 cuáles eran las ganancias que estaba dejando de percibir el sector agropecuario debido a la demanda insatisfecha, esto demuestra la rentabilidad de estas actividades si se realizara un distrito de riego que asegure el abastecimiento del sector agropecuario de la cuenca y de esta manera superar la dependencia económica a El Cerrejón.

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La demanda hídrica en la cuenca del río Ranchería (85 billones de m^3). No puede ser analizada sin tener en cuenta factores que van más allá de la realidad climatológica e hidrológica de la cuenca, la disponibilidad del recurso hídrico y su demanda general por subcuencas definida en la fase 1 dan cuenta del panorama de la cuenca, pero cuando se quiere tener una evaluación completa se debe acudir a información económica que permita concluir los usos del agua y sus cantidades, aquí es donde entró el panorama tributario, ya que como se puede apreciar en la fase 2 aunque es casi igual de rentable para el inversionista una tonelada de producción de carbón o una tonelada de producción cárnica, para las organizaciones públicas, no son comparables los montos que la extracción minera aporta al erario público y al departamento que lo que aporta el sector ganadero ya que estas actividades pecuarias están exentas de regalías al departamento y por ende es mucho más conveniente al sector público permitir el uso del recurso hídrico a una actividad extractiva que usa 10 veces más agua por hectárea pero que sus aportes a la economía estatal son también mucho más significativos que el otro sector.
- Respecto a las aportaciones al erario público concernientes a las actividades productivas de la cuenca, El Cerrejón, aporta inmensas cantidades de dinero anualmente por concepto de impuestos y regalías al departamento, este dinero justifica de plena manera el mero y la permisividad que tiene el estado y CORPOGUAJIRA con este gigante del carbón, pero no todo puede ser dinero y no todo puede girar en torno al crecimiento de las arcas públicas, si se va a tener una actividad extractiva de este argot se debe velar porque todas estas aportaciones y dividendos públicos se vean en la mejora de la calidad de vida de las personas que residen en la cuenca, puesto que ellos, los habitantes de Maicao, Fonseca, San Juan del Cesar, Riohacha, Albania y Distracción son quienes están poniendo en vilo su salud son quienes permiten que se exploten los activos ambientales de un territorio que históricamente es suyo. El gobierno nacional los quiere poner como carne de cañón sin darles una parte considerable de lo que El Cerrejón aporta por dañar el ecosistema de la cuenca.

Ahora bien, es claro después de desarrollar este estudio, después de un año de trabajo arduo, después de establecer contacto con las personas de la cuenca, con organizaciones privadas y públicas, que la cuenca del río Ranchería cuenta con las condiciones y la voluntad de las personas para ser un territorio de bonanza agropecuaria. Está demostrado en este estudio como lo precios de la carne y el carbón son comparables históricamente, en algunos casos la carne a superado el carbón, y en este mundo cambiante que cada vez apunta más a la energías renovables es inevitable imaginar un punto donde la seguridad alimentaria será con creces más importante que la producción energética basada en la quema de combustibles fósiles, por ende es imperativo que el estado sea garante de que en esta cuenca se cumpla lo pactado y se dé a estas personas un distrito de riego funcional que permita explotar al máximo el potencial agropecuario de la cuenca.

- La Guajira ha sufrido el olvido gubernamental víctima de la corrupción, que se ve reflejado en la ausencia de programas que generen la conciencia y el buen manejo del recurso hídrico, pues se prioriza la cantidad del recurso para la actividad económica que más genera ingresos a los aportes fiscales para la región que en este caso es la mina El Cerrejón , olvidando las demás actividades productivas, desamparando a los agricultores y ganaderos de la zona; cada día se vuelve más difícil realizar actividades agrícolas por la complejidad y el margen de ganancia que esta genera, por lo que están optando los agricultores que a su vez son ganaderos en realizar una inversión mayor en el tema pecuario, disminuyendo la variabilidad en cultivos como el arroz y algodón y pasando esos

terrenos a uso ganadero, actividad que genera mayor erosión y disminuye la cantidad y calidad del recurso hídrico

- El departamento de La Guajira carece de información climatológica en su departamento, la mayoría de estaciones que se encuentran funcionando no llevan el tiempo suficiente ya que no poseen una medición de datos en un tiempo cercano a los 30 años, por lo que son estaciones que se descartaron para el análisis climatológico y la realización del modelo, por otra parte las estaciones que cumplían con el requisito en tiempo de medición carecían de constancia en los datos, por tal motivo se decidió ampliar la zona de influencia de 50 km² como inicialmente fue propuesto a una zona con el doble de área 100 km², para así tomar información hidrometeorológica de estaciones que cumplieran con el requisito de consistencia de datos para el posterior tratamiento estadístico y fuente de insumo para el software WEAP. Con esto se buscó tener un mayor porcentaje de confianza en el modelo.
- En función de la presencia o no de la mina y de sus respectivas coberturas vegetales se puede concluir que las zonas en las que se tiene mayor desabastecimiento son las zonas en que hay presencia de la minería, esto debido a las grandes cantidades de agua que se requieren para llevar a cabo la extracción, es evidente en la subcuenca número 3 (ver figura 7) la cual es la más extensa en área y en la cual se llevan a cabo actividades tanto mineras como agropecuarias.
- Es necesario establecer nodos de consumo, ya que a lo largo del río se hacen intervenciones al cuerpo de agua sin registro o monitoreo alguno por parte de los pequeños agricultores y ganaderos, la comunidad sólo se ve obligada a pagar ante la Corporación Autónoma de La Guajira (CORPOGUAJIRA) el derecho al agua, siendo un cobro estándar para los grandes agricultores sin importar la cantidad de agua que ellos estén usando del río ranchería. De esta forma se lograría tener información referente a consumo agropecuario más acertada a la realidad.
- Se recomienda a la autoridad ambiental regional CORPOGUAJIRA hacer un control sobre la calidad del agua del río ranchería por medio de sanciones o medidas de prevención para la conservación de la calidad del recurso, pues ante la poca oferta hídrica que presenta el departamento, los habitantes aledaños al río ranchería realizan actividades antropogénicas que alteran la calidad del recurso, como lo son el lavado de vehículos y de ropa. Sin importar la calidad del recurso, campesinos hacen uso del agua para el riego de sus cultivos.
- El 60% de la cuenca cuenta con una demanda no cubierta del recurso hídrico (ver figura 10) según resultados de la modelación, siendo de gran importancia pues gran parte de la comunidad se dedica a la agricultura y ganadería y este es el principal recurso que necesitan para desarrollar sus actividades agrícolas y pecuarias.
- La subcuenca que presenta mayor cantidad de demanda insatisfecha es la subcuenca 3, en donde se encuentra ubicada la mina El cerrejón, esto debido a que la actividad extractiva que se genera allí requiere de 24 millones de veces más agua al día que el consumo de una persona al día, además es la subcuenca con mayor área, lo que la hace una subcuenca que contiene las tres principales actividades económicas, agricultura, ganadería y la más importante, minería.
- La implementación de un sistema de pagos por servicios ambientales (PSA), es la mejor alternativa visto como mecanismo que identifique a los actores de la cuenca y les acuñó responsabilidades para el manejo de la misma, de esta manera da lugar a la gestión de

los recursos de la cuenca de una manera consecuente con los impactos que se están generando para llegar a un desarrollo sostenible sin abandonar la vocación económica y sin dañar las condiciones ecológicas de la cuenca.

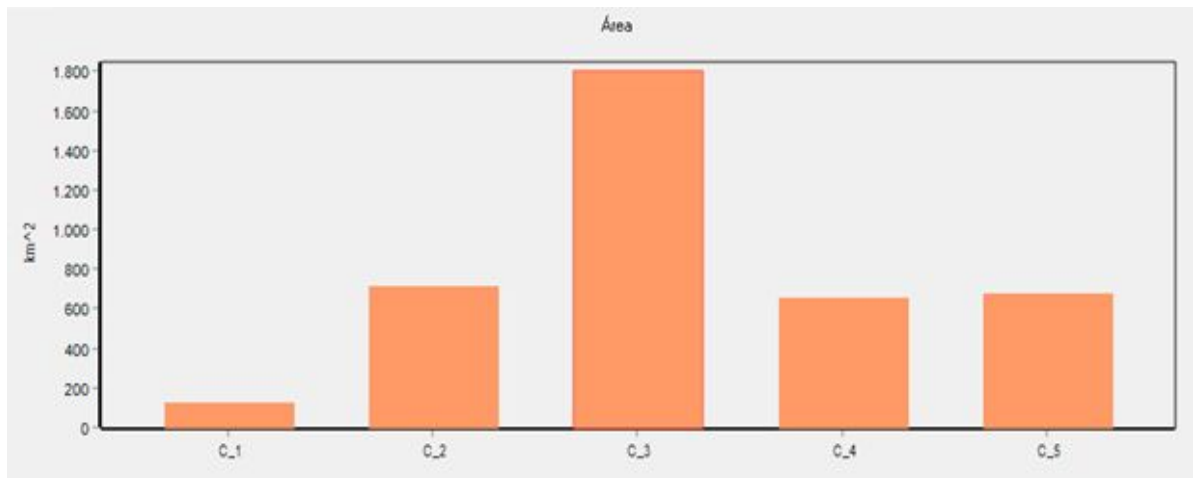
9 . BIBLIOGRAFÍA

- [1] E. Bustos, S. Vicuña, F. Flores, C. Young, M. Escobar, D. Purkey <<Modelo WEAP: herramienta de modelación de Recursos Hídricos>> disponible en <https://www.maipoadaptacion.cl/modelo-weap-herramienta-de-modelacion-de-recursos-hidricos/>
- [2] IDEAM, «Estudio Nacional del Agua,» 2014.
- [3] CORPOGUAJIRA, «Zonificación ambiental de la cuenca hidrográfica del río Ranchería,» Riohacha.
- [4] D. C. Agudelo, «Cerrejón aporta 50% del PIB de La Guajira tras 30 años de explotación,» *La Republica*, 2016
- [5] E. J. P. BRUGES, «AGUA, TERRITORIO Y DESARROLLO, EN LA DESVIACIÓN DEL ARROYO,» USTA, BOGOTÁ, 2017.
- [6] E. Cerrejón, «El Cerrejón,» 2017. [En línea]. Available: <https://www.cerrejon.com/index.php/indicadores-economicos/>. [Último acceso: 9 Noviembre 2018].
- [7] A. N. d. Minería, «Agencia nacional de minería,» [En línea]. Available: <https://www.anm.gov.co/?q=Cifras-historicas-para-Cerrejon>. [Último acceso: 9 Noviembre 2018].
- [8] J. D. B. Sebastian Ballen, «CUANTIFICACIÓN DE LAS TRANSFORMACIONES TERRITORIALES ASOCIADAS A DINÁMICAS DE PRODUCCIÓN DERIVADAS DE LOS DIFERENTES SECTORES PRODUCTIVOS EN LA CUENCA DEL RÍO RANCHERÍA, LA GUAJIRA, COLOMBIA.,» Universidad Santo Tomás, Bogotá, 2018.
- [9] M. Barriento, «indexmundi,» [En línea]. Available: <https://www.indexmundi.com/es/precios-de-mercado/?mercancia=carbon-colombiano&meses=120&mercancia=carne>. [Último acceso: 26 11 2018].
- [10] A. L. B. Cristina Díaz Díaz, «Los problemas actuales del impuesto predial rural,» 2013.
- [11] contextoganadero, «contexto ganadero,» 2012. [En línea]. Available: <https://www.contextoganadero.com/ganaderia-sostenible/numero-de-vacas-por-hectarea-se-duplica-en-fincas-tecnificadas>. [Último acceso: 26 Noviembre 2018].
- [12] J. K. C. GONZÁLEZ, «ANÁLISIS DE LA HUELLA HÍDRICA EN LA EXPLOTACIÓN MINERA DE CARBÓN A CIELO ABIERTO EN LA MINA DE EL CERREJÓN (LA GUAJIRA),» Universidad Piloto de Colombia, Bogotá, 2012.
- [13] Anónimo, Interviewee, *Entrevista productor pecuario*. [Entrevista]. 16 Noviembre 2018.
- [14] E. Garcia, Interviewee, *Entrevista sector agrícola*. [Entrevista]. 17 Noviembre 2018.
- [15] O. L. A. Alvarez, «Análisis de los pagos por servicios ambientales como una herramienta para el fortalecimiento de la gestión ambiental en la amazonia colombiana. El caso del,» Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2016.
- [16] W. Figueroa, Interviewee, *Entrevista operador turístico (Municipio Distracción)*. [Entrevista]. 16 Noviembre 2018.
- [17] R. d. P. M. S. S. W. Carlos Andrés Borda Almanza, «Pagos por Servicios Ambientales en Marcha: La Experiencia en la Microcuenca de Chaina, Departamento de Boyacá, Colombia,» CIFOR, 2010.

- [18] E. Duarte, «Engormix,» [En línea]. Available: <https://www.engormix.com/ganaderia-leche/articulos/uso-agua-establecimientos-agropecuarios-t30396.htm>. [Último acceso: 26 Noviembre 2018].
- [19] M. C. L. Murcia, «Zonificación Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Río Ranchería,» CORPOGUAJIRA, Riohacha.
- [20] R. A. B. a. L. L. Molina, «Socio-environmental diagnosis of the subtropical dry forest of the Ranchería River Basin, La Guajira, Colombia | Diagnóstico socioambiental del bosque seco subtropical de la cuenca del Río Ranchería, La Guajira, Colombia,» *Boletín científico del centro museos*, vol. 20, nº 2, pp. 57-81, 2016.
- [21] Corpoguajira, «Plan de Ordenamiento de la CUENCA DEL RÍO RANCHERÍA,» 2011.
- [22] C. & A. P. E. & F. N. A. Suárez, «Modelación y Simulación Dinámica para la Gestión de Caudales en la Cuenca Alta del Río Pamplonita -Un Balance Hídrico de Consumo,» *Bistua : Revista de la Facultad de Ciencias Básicas*, 2007.
- [23] Y. Z. C. S. J. S. Z.-L. W. Y. W. X. Li, «Application of Water Evaluation and Planning (WEAP) model for water resources management strategy estimation in coastal Binhai New Area, China,» *Ocean & Coastal Management*, 2015.
- [24] S. A.-Q. A. A.-S. F. A. A. Al-Omari, «A Water Management Support System for Amman Zarqa Basin in Jordan,» *Water Resources Management*, 2009.
- [25] U. Europea, «Directiva Marco del Agua,» 2000.
- [26] E. J. P. Bruges, «Análisis del impacto del agua y el territorio en las comunidades del área de influencia de la extracción minera de carbón en el Cerrejón, por la desviación del arroyo Bruno, en la cuenca del río Ranchería, Departamento de La Guajira,» Bogotá, 2017.
- [27] CINEP, «Minería, conflictos agrarios y ambientales en el sur de La Guajira,» 2016.
- [28] IDEAM, «Estudio Nacional del Agua,» 2014.
- [29] unesco, «Métodos de cálculo del balance hídrico,» 1981.
- [30] P. C. W. L. J. Gao, «Application of the WEAP model in strategic environmental assessment: Experiences from a case study in an arid/semi-arid area in China,» *Journal of Environmental Management*, 2017.
- [31] D. Y. C. T. D. G. Groves, «Developing and applying uncertain global climate change projections for regional water management planning,» *Water Resources Research*, 2008.
- [32] DANE, «CENSO 2005,» 2005.
- [33] U. Europea, «Directiva Marco del Agua,» 2000.
- [34] B. H. Blázquez, *Bolsa y estadística bursátil*, Madrid: Ediciones Díaz de Santos, 2000.
- [35] D. Coyle, *El producto interno bruto: Una historia breve pero entrañable*, Fondo de Cultura Económica, 2017.
- [36] H. S. J. C. H. Levite, «Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model,» *Physics and Chemistry of the Earth*, 2003.
- [37] R Martínez. « Guía Conceptual y Metodológica para el Diseño de Esquemas de Pagos por Servicios Ambientales en Latino-América y el Caribe» Departamento de Desarrollo Sostenible de la OEA, Washington D.C, E.U. , 2008
- [38] P. Tostón «El Río Ranchería. Perdido en el Desierto » Proyecto MONITOREO EN RESPONSABILIDAD SOCIAL Y DERECHOS HUMANOS, Indepaz 2013.

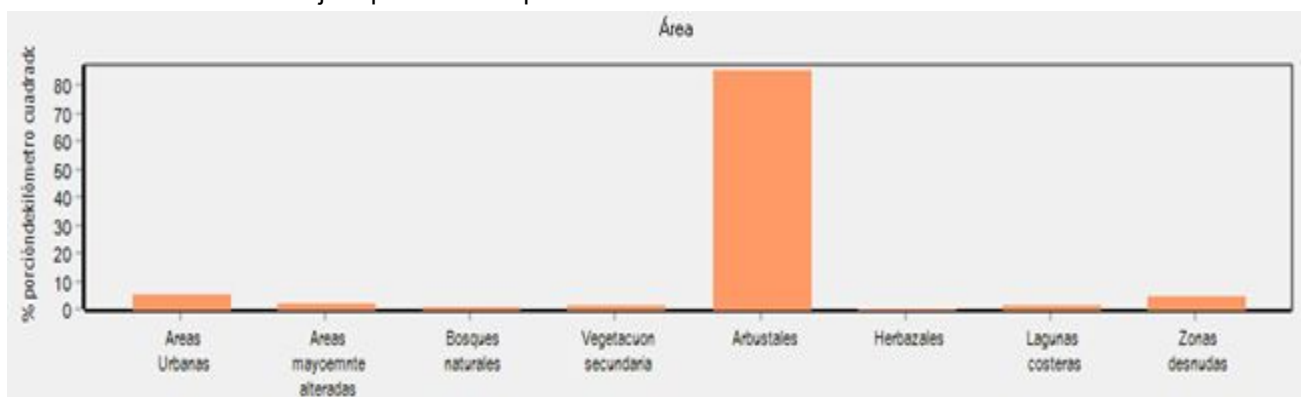
11. ANEXOS

- Anexo 1. Área representativa por subcuenca



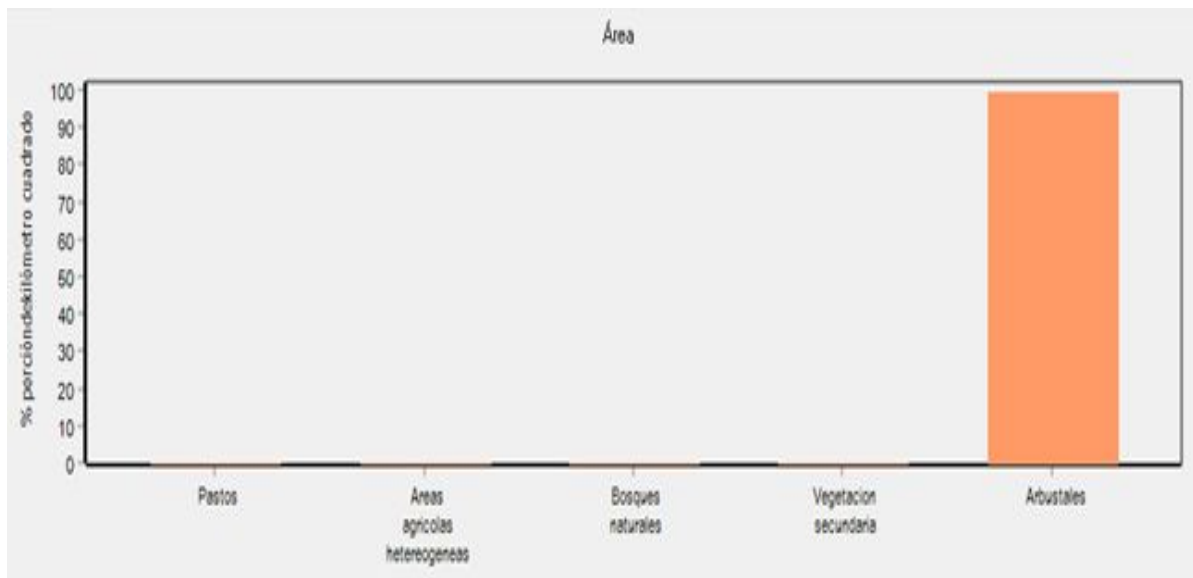
Fuente. Autores

- Anexo 2. Porcentaje representativo por cobertura del suelo subcuenca 1



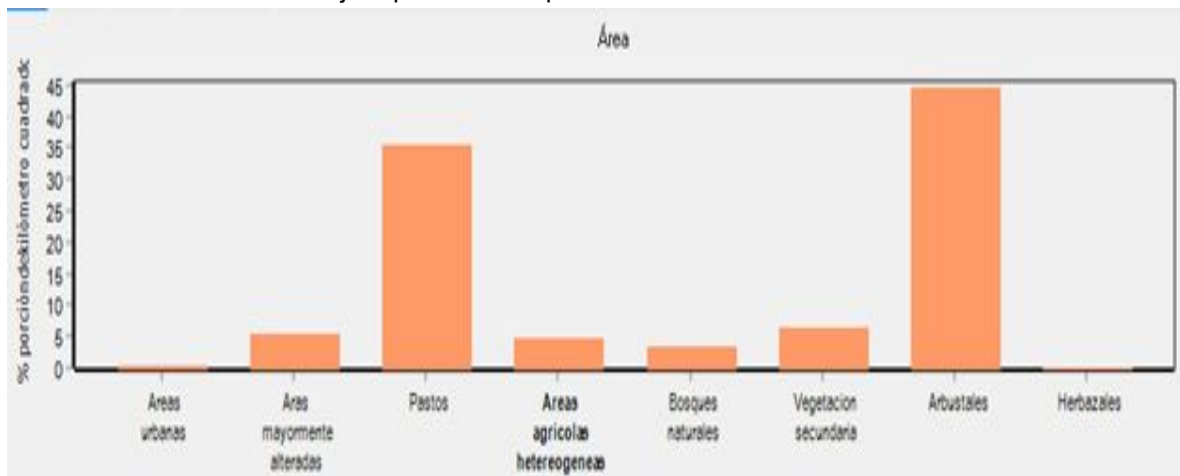
Fuente. Autores

- Anexo 2.1. Porcentaje representativo por cobertura del suelo subcuenca 2



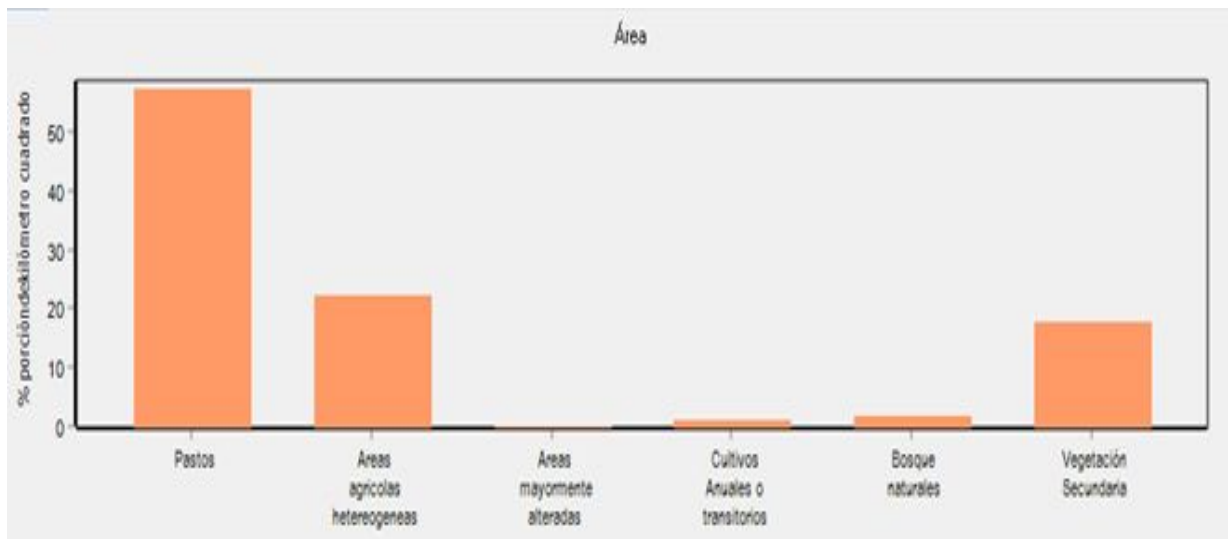
Fuente. Autores.

- Anexo 2.2. Porcentaje representativo por cobertura del suelo subcuenca 3



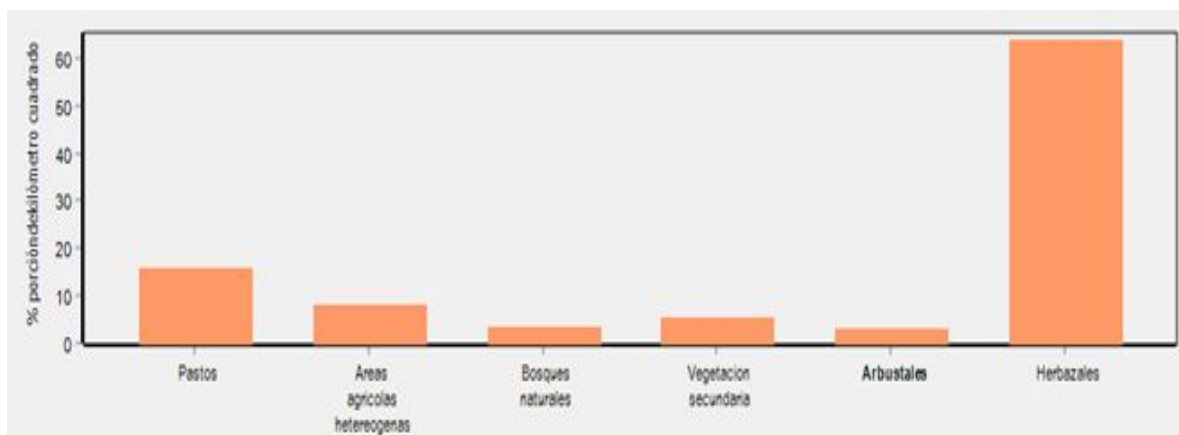
Fuente. Autores

- Anexo 2.3 Porcentaje representativo por cobertura del suelo subcuenca 4



Fuente. Autores

- Anexo 2.4. Porcentaje representativo por cobertura del suelo subcuenca 5



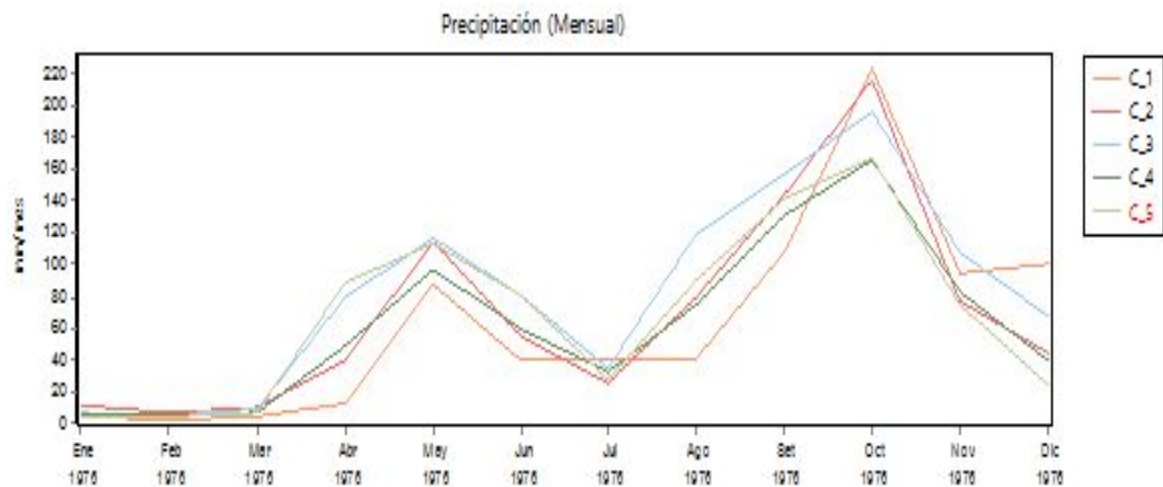
Fuente. Autores

- Anexo 3. Coeficiente de cultivo Kc por cobertura

Áreas Urbanas	0,2
Áreas mayormente alteradas	1
Bosques naturales	0,6
Vegetación secundaria	0,7
Arbustales	0,5
Herbazales	0,6
Lagunas costeras	1,05
Zonas desnudas	1

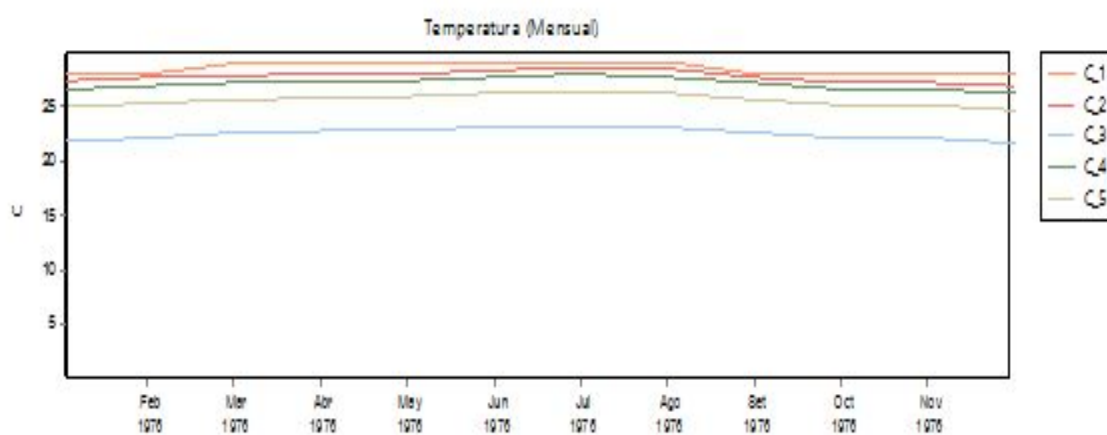
Fuente. Autores

- Anexo 4. Precipitación media por subcuenca



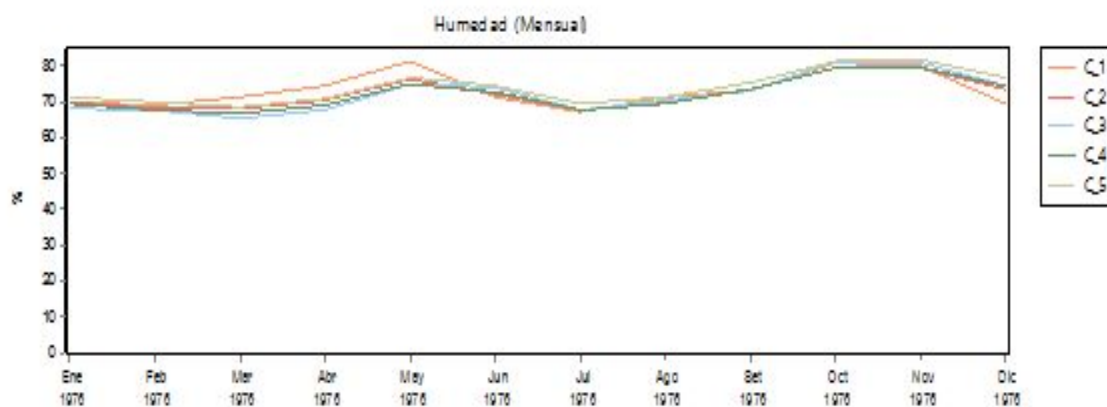
Fuente. Autores

- Anexo 5. Temperatura media por subcuenca



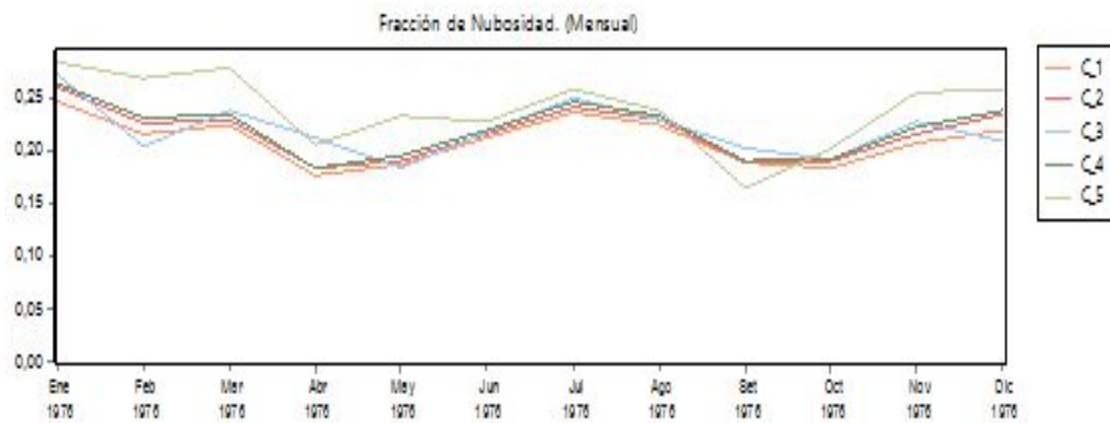
Fuente. Autores

- Anexo 6. Humedad relativa por subcuenca



Fuente. Autores

- Anexo 7. Brillo solar por subcuenca



Fuente. Autores

- Anexo 8. Demanda del recurso hídrico anual



Fuente. Autores

- Anexo 9. Caudal estimado a la desembocadura de la cuenca

Información de Caudal. (Mensual)

