



Pontificia Universidad
Católica del Ecuador

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

**MAESTRÍA EN PLANIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO
TERRITORIAL PARA EL DESARROLLO**

**DISERTACIÓN PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
MAGÍSTER EN PLANIFICACIÓN Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL PARA
EL DESARROLLO**

**"Metodologías para la evaluación de la influencia de actividades agropecuarias en la
calidad del agua"**

Ing. Geo. María Elisa Vaca Boda



Director: Carlos Nieto Cabrera PhD.

Año 2019

DEDICATORIA

Este trabajo de Investigación se lo dedico desde un inicio a Dios, quien me ha guiado para poder culminar satisfactoriamente con la labor realizada, y confiando que de su mano permitirá brindar un servicio a la comunidad que utilice este documento como una base para realizar futuros trabajos

Dedico este trabajo de igual manera a mi familia, y mi hijo quienes han sido un continuo apoyo para que pueda desenvolverme en el ámbito académico y profesional.

En este trabajo de disertación cumple un rol fundamental, mi colega, compañero, y cómplice en todo, el Economista Roberto Lucero, quien me ha apoyado mucho en la presente investigación, compartiendo sus vastos conocimientos en ramas estadísticas, y técnicas para que pueda llevarse a cabo este trabajo de Disertación.

TABLA DE CONTENIDO

1.	Introducción	6
2.	Planteamiento del problema	8
3.	Antecedentes	9
4.	Objetivos	11
4.1.	Objetivo General	11
4.2.	Objetivos Específicos	11
CAPITULO I		12
MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL		12
1.1	Marco Conceptual	12
1.2	Marco Teórico	22
1.2.1	Diagnóstico de la división hidrográfica a nivel Nacional, delimitación de una microcuenca hidrográfica	22
1.2.2	La cuenca hidrográfica, como unidad territorial de análisis para el adecuado manejo de los recursos hídricos	25
1.2.3	Ordenamiento territorial del sector agropecuario, aplicado dentro de una microcuenca hidrográfica	27
1.2.4	Los factores ambientales del territorio, su relación con la producción agropecuaria y la influencia en la calidad del agua dentro de una microcuenca hidrográfica	28
1.2.5	Influencia de la actividad pecuaria en la afectación a los suelos y agua	30
1.2.6	Las actividades agrícolas como factor de afectación en la vulnerabilidad de la calidad del agua	31
1.2.7	Incidencia directa de los insumos de producción agropecuaria en el aire, suelo y agua	32
1.2.8	Incidencia de elementos químicos en la vulnerabilidad de suelos y agua	37
1.3	Marco Legal	39
CAPITULO II		42
2	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN	42
2.1	Ubicación Geográfica y Superficie del área de estudio	42
2.1.1	Localización política administrativa	42
2.2	Análisis Geofísico de la microcuenca del río Burgay	43
2.2.1	Geología	43
2.2.2	Geomorfología	43
2.2.3	Clima	44
2.2.4	Topografía y suelos	47
2.2.5	Hidrografía	51
2.2.6	Hidrogeología	53
2.3	Análisis Biofísico	54
2.3.1	Vegetación natural y uso de la tierra	54
2.3.2	Fauna	55
2.4	Análisis Socioeconómico	55
2.4.1	Demografía y situación social	55
2.4.2	Población económicamente activa y principales actividades productivas	57
2.4.3	Sistema de movilidad	68

CAPITULO III	73
3 METODOLOGÍA	73
3.1 Metodología de diagnóstico integrado	73
3.2 Método FODA.....	73
3.3 Método Árbol de Problemas.....	75
3.4 Construcción de un Índice de calidad del agua aplicado a la microcuenca del Río Burgay	78
CAPITULO IV	101
4 RESULTADOS	101
4.1 APLICACIÓN DEL ICA	101
4.1.1 Análisis de correlaciones entre parámetros de cálculo para obtención ICA.....	105
CAPITULO V	108
5 MÉTODO DE VALIDACIÓN Y CONTRASTE DE LOS RESULTADOS	108
5.1 Proceso de construcción de un Modelo de regresión aplicado a la calidad del agua	108
5.2 Justificación del Modelo de Regresión Lineal Múltiple	109
5.3 Consideración de las variables explicativas – Parámetros Biofísicos y Geofísicos.....	110
5.4 Transformación escalar de los parámetros biofísicos, geofísicos seleccionados para el modelo inferístico.....	113
5.5 Descripción de los parámetros biofísicos y geofísicos	117
5.6 Análisis de correlaciones de variables explicativas, con el ICA	119
5.7 Construcción del Modelo de Regresión para el diagnóstico de la calidad del agua	122
5.8 Revisión del modelo – Primera evaluación	124
5.9 Análisis de resultados del modelo de regresión final escogido—Segunda evaluación	126
5.10 REVISIÓN DE ESTADÍSTICOS RESULTADO.....	128
5.11 Nivel de confianza.....	130
5.12 EJERCICIO DE COMPROBACIÓN-VALIDACIÓN	131
CAPITULO VI	134
6 CONCLUSIONES	134
7 BIBLIOGRAFÍA.....	138
ANEXOS.....	143

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Características sobresalientes de los sistemas hidrográficos del Ecuador	23
Tabla 2 Déficit o superávit hídrico anual para las nueve Demarcaciones Hidrográficas (DH), definidas para el territorio ecuatoriano	25
Tabla 3 Serie histórica del consumo de fertilizantes químicos nitrogenados en Ecuador	35
Tabla 4 Uso de fertilizante nitrogenado por hectárea y por tipo de cultivo en la microcuenca del río Burgay	38
Tabla 5 Nombre y longitud de los Ríos de la Microcuenca Burgay	52
Tabla 6 Concesiones de agua en la microcuenca del río Burgay	53
Tabla 7 Población en la microcuenca del río Burgay, por Cantón, Parroquia y diferenciada por Género	55
Tabla 8 Porcentaje de población por grupos de edad en la microcuenca del río Burgay	56
Tabla 9 Nacionalidades indígenas en la Microcuenca Burgay	56
Tabla 10 Principales ramas de actividad de la población de la microcuenca del río Burgay	58
Tabla 11 Cobertura y uso de suelo principal en la Microcuenca Burgay	59
Tabla 12 Monto de Remesas y número de giros recibidos en Burgay según año	63
Tabla 13 Nivel de instrucción de la microcuenca del río Burgay-Hombres (%)	65
Tabla 14 Nivel de instrucción de la microcuenca del río Burgay-Mujeres (%)	66
Tabla 15 Migrantes por año de salida del país y sexo en el cantón Biblián	67
Tabla 16 Matriz FODA en la microcuenca del río Burgay	74
Tabla 17 Base de análisis de los Puntos de monitoreo de calidad del agua en la microcuenca del río Burgay	86
Tabla 18 Estructura de la Geodatabase de parámetros del ICA, en la microcuenca del río Burgay	87
Tabla 19 Unidades de medida parámetros físico-químicos utilizados para el cálculo del ICA	89
Tabla 20 Pesos otorgados a cada parámetro sin la presencia de la temperatura	90
Tabla 21 Pesos asignados a cada parámetro del ICA incluyendo la temperatura	90
Tabla 22 Normalización parámetro coliformes fecales	92
Tabla 23 Normalización parámetro pH	93
Tabla 24 Normalización parámetro DBO	94
Tabla 25 Normalización parámetro Nitrato	94
Tabla 26 Normalización parámetro Turbiedad	95
Tabla 27 Normalización parámetro Sólidos disueltos	95
Tabla 28 Normalización parámetro Fosfatos	96
Tabla 29 Normalización parámetro Temperatura	96
Tabla 30 Normalización parámetro Oxígeno disuelto	97
Tabla 31 Ponderaciones en peso establecidas por parámetro	97
Tabla 32 Cálculo de diferentes tipos de ICA en la microcuenca del río Burgay, resultados	102
Tabla 33 Correlaciones de los parámetros y el ICA calculado en la microcuenca del Río Burgay, año 2013	106
Tabla 34 Correlaciones de los parámetros y el ICA calculado en la microcuenca del Río Burgay, año 2014	106
Tabla 35 Parámetros biofísicos y geofísicos considerados en la construcción del modelo de regresión	111
Tabla 36 Escalares transformados para los valores y categorías de parámetros biofísicos y geofísicos	114
Tabla 37 Correlaciones entre las variables explicativas con el ICA	121
Tabla 38 Variables biofísicas y geofísicas relevantes escogidas para incluirlas en el modelo	122
Tabla 39 Variables biofísicas y geofísicas relevantes-primera evaluación	124
Tabla 40 Coeficientes del modelo de regresión y variables excluidas-primera evaluación	125
Tabla 41 Resumen del Modelo de regresión	127
Tabla 42 Coeficientes del modelo de regresión	128
Tabla 43 ANOVA	130
Tabla 44 Resumen del Modelo de regresión	131
Tabla 45 Ejercicio de comprobación ICA inicial y resultados del modelo de regresión	132

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Volumen de recursos hídricos superficiales por Demarcación Hidrográfica, en Ecuador	24
Figura 2 Diagrama Esquemático de afectaciones de la actividad agrícola al suelo, aire y agua	28
Figura 3 Factores de actividades agropecuarias que inciden en la contaminación de los recursos hídricos	36
Figura 4 Porcentaje de fertilizante nitrogenado utilizado por tipo de cultivo en la microcuenca del río Burgay	39
Figura 5 Diagrama climático de la microcuenca Río Burgay, período 1985-2009	45
Figura 6 Árbol de problemas 1-Dinámica económica deficiente en la microcuenca del río Burgay.....	75
Figura 7 Árbol de problemas 2-Gestión ambiental deficiente	76
Figura 8 Árbol de problemas 3- Depósitos de desechos al cauce del río Burgay a trav'es de vías sin planificación	77
Figura 9 Árbol de problemas 4- Disminución paulatina de la calidad y cantidad de agua en la microcuenca del río Burgay	78
Figura 10 Datos originales parámetros ICA. Depuración de los datos con revisión de características atadas a la identificación de valores discordantes. Ejemplo Coliformes Fecales	85
Figura 11 Parámetros físico-químicos utilizados en el cálculo del ICA.....	88
Figura 12 Rangos de calidad del agua	100

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1 Peso porcentual por tipo de fertilizante respecto del total consumido en el Ecuador	35
Ilustración 2 Pantalla SPSS para el ingreso de variables	123
Ilustración 3 Pantalla SPSS para el ingreso de variables – construcción automática del modelo	124

ÍNDICE DE MAPAS

Mapa 1 Mapa Base de la microcuenca del río Burgay	43
Mapa 2 Mapa de localización de puntos de monitoreo, microcuenca Río Burgay	46
Mapa 3 Pendientes, microcuenca Río Burgay	51
Mapa 4. Cobertura de la tierra, microcuenca Río Burgay	62
Mapa 5. Sectores de la economía en la microcuenca del río Burgay.....	64
Mapa 6 Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del agua, asentamientos humanos y actividades agropecuarias.....	82
Mapa 7 Mapa concentración fertilizante por cultivo, cuenca Burgay	104

1. Introducción

Dentro de cada una de las cuencas hidrográficas se desarrolla la vida, con la interacción de las condiciones naturales y las actividades humanas, en este proceso se presentan impactos de diversos tipos sobre el territorio, por esta razón, es muy importante evaluar las medidas que se deben adoptar con relación al cuidado y conservación de uno de los recursos naturales más importantes de las cuencas, el agua y su calidad. Proponer acciones relacionadas con la planificación y gestión del territorio de las cuencas hidrográficas, facilitan el mejoramiento de su manejo y conservación, además, una adecuada planificación territorial a este nivel contribuye a minimizar los impactos producidos por las actividades agro-productivas.

El análisis territorial a nivel de microcuenca permite considerar los aspectos importantes que caracterizan el territorio, mediante una planificación adecuada y el ordenamiento de las actividades que se desenvuelven en el mismo; con lo mencionado, se podrán realizar propuestas que contribuyan al desarrollo y conservación del territorio. Se puede proponer el uso de los servicios ecosistémicos como una actividad alternativa para la población que habita en las microcuencas, para recibir pagos por estos servicios al invertir en el cuidado de los elementos geofísicos y biológicos, esto contribuye directamente en la regulación de los cuerpos de agua, la conservación del suelo, secuestro de carbono, la conservación de los paisajes naturales, los hábitats de la fauna y la flora silvestre (Fernández, 2010).

En la presente investigación se consideró la Microcuenca del Río Burgay, debido a que esta área de estudio presenta una caracterización geofísica afectada por el desarrollo de actividades productivas agropecuarias (agricultura y ganadería). La microcuenca del río Burgay, se localiza en la Demarcación Hidrográfica Santiago, y corresponde dentro de la metodología para la división hidrográfica nacional, al nivel 6 pfafstetter, con 448 km² de extensión.

La investigación posee un carácter mixto, en la cual se desarrollan procesos cualitativos y cuantitativos, el interés es mejorar la efectividad de la planificación de los recursos hídricos. De esta manera, se desea aportar con herramientas metodológicas que contribuyan al cumplimiento de las normas relacionadas con la calidad del agua. Así mismo, la priorización de parámetros para control y vigilancia permitiría obtener

información de la calidad del agua de manera objetiva, basada en relaciones con aspectos socio-económicos y ambientales.

Para realizar la metodología, se efectuó una identificación de fuentes de información, previo al procesamiento de los datos correspondientes a los parámetros físico químicos y microbiológicos de la calidad del agua; con estos se desarrolló el Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA), donde los valores normalizados y ponderados de cada parámetro son sumados e incluidos en el cálculo en sus diferentes modalidades (lineal, exponencial, modificado, raíz), de donde parte la metodología estadística para la construcción de un modelo de Regresión multivalente. Además, se realizó una exploración de insumos geomáticos para generar la Metodología Cartográfica, la cual se utilizó con la finalidad de asociar la dinámica del agua con las características geofísicas y biofísicas de la microcuenca del Burgay.

De manera visionaria, se desea aplicar ésta metodología predictiva en sectores dentro de la microcuenca, con el uso de datos de las distintas campañas de monitoreo de calidad del agua, realizadas en determinadas épocas del año. Estos datos fueron tomados de la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). Se utilizó la información monitoreada del Proyecto de Control y Gestión de la Calidad del Agua, esta información fue procesada para el cálculo del ICA. Por otro lado, se desea incluir aquellos sectores que no tengan información para evaluar la calidad del agua con el uso de la herramienta predictiva. También la metodología estará en función de su aplicabilidad para el análisis de la influencia de las actividades productivas agropecuarias en la calidad del agua del Burgay, servirá para proponer actividades que contribuyan a una adecuada gestión de los recursos hídricos.

La finalidad perseguida consiste en realizar un análisis de la dinámica territorial de esta cuenca, para la evaluación de la influencia de las actividades mencionadas sobre la calidad del agua. Esta investigación a más de determinar la dinámica territorial, parte desde la identificación de los parámetros adecuados para analizar la calidad del agua, considerando un entorno, químico, físico y microbiológico, que permita determinar los diferentes niveles de vulnerabilidad. El comportamiento y dinámica del agua, se asociará con las características geofísicas, biofísicas y socioeconómicas del territorio, que permitirán

configurar los escenarios de predicción para interpolar este análisis en otros sectores dentro del área en estudio.

2. Planteamiento del problema

En Ecuador, a nivel nacional se identifican algunos factores que inciden en la inadecuada gestión del agua. Entre los principales problemas encontrados en la planificación de los recursos hídricos están: la escasez o ausencia de información biofísica, actividades antrópicas, débil institucionalidad, ausencia de planificación de las actividades agroproductivas, descoordinación entre el gobierno central, organismos de desarrollo rural y los gobiernos seccionales. Todo esto ocasiona un eventual agotamiento del caudal y calidad natural de los recursos hídricos dentro de las microcuencas hidrográficas.

Además, en el Ecuador no se dispone de un análisis detallado, periódico y actualizado de la calidad del agua a nivel nacional. Este factor se da debido al costo que representa el levantamiento de la información y la ausencia de una adecuada planificación. En este sentido, es aún más complicado tener información acerca de los índices de contaminación del agua producidos por las actividades productivas agropecuarias e industriales, entre otras.

El proceso de reproducción social en la microcuenca del río Burgay, y su contexto, determinaron los problemas en el manejo de los recursos hídricos que se evidencian en la actualidad. El deterioro de la calidad del agua, las enfermedades infecciosas provocadas por el uso de este recurso y los problemas en la gestión pública del mismo, han generado inequidad en la distribución y el uso ineficiente del recurso.

En este contexto, es necesario proponer una metodología para analizar la calidad del agua en una microcuenca. Se propone la metodología basada en el cálculo del Índice de Calidad del Agua, ICA, complementado con la generación de correlaciones y la aplicación de un modelo inferístico, que permitan la comprensión del territorio para mejorar la gestión de los recursos hídricos dentro de una microcuenca hidrográfica (en este caso la microcuenca del río Burgay) aportar a la calidad del agua en las vertientes, en el marco de considerar a la microcuenca como un territorio integral.

3. Antecedentes

Las actividades humanas alteran los sistemas de agua a nivel mundial. Estas actividades antrópicas son las siguientes: la quema tradicional de la vegetación, la deforestación, el pastoreo excesivo, las prácticas agrícolas de tipo convencional, la alteración física y química de los suelos, la contaminación del aire, el exceso de extracción de bombeo de las aguas subterráneas, la urbanización indiscriminada, la industrialización, así como las presas y embalses, entre otras actividades de intervención humana.

Ahora bien, aproximadamente el 70% del total del agua dulce en el mundo es utilizada para las actividades agropecuarias (Fernández, 2010). Las aguas utilizadas en los procesos agro-productivos, se devuelven al ambiente a manera de aguas residuales. Además, a consecuencia de un mal manejo en este tipo de actividades, se depositan considerables cantidades de elementos en los recursos hídricos, por ejemplo: nitrógeno, fósforo, potasio, metales; los cuales alteran la composición química del agua. Este factor constituye una amenaza inminente para el medio ambiente y para la sustentabilidad de las actividades agro-productivas; lo cual implica la afectación en la calidad del agua superficial y subterránea y el agotamiento de este recurso. (Fernández, 2010).

Es importante recalcar que las áreas de producción agropecuaria saturan a los ecosistemas locales, con una concentración de elementos que superan su capacidad de absorción. Su impacto incide directamente en la degradación de la calidad de las aguas superficiales y subterráneas. Cabe resaltar que los sistemas de producción agropecuarios son los que mayor carga de compuestos depositan en los ecosistemas locales a nivel mundial, con un porcentaje del 70,5% de Nitrógeno (N) y Fósforo (P) (Fernández, 2010). Se debe considerar que los microorganismos que excreta el ganado, incluyendo los residuos de los medicamentos y hormonas utilizados en estos animales, se pueden encontrar fácilmente en las fuentes hídricas. Las altas concentraciones de estos elementos en los cuerpos de agua producen mal sabor y olor de la misma, constituyendo un riesgo para la salud humana y de los seres vivos en general.

Considerando que el tema de la calidad del agua y la disponibilidad del recurso, es determinante para los sistemas productivos agropecuarios, y en particular que a nivel mundial se desea considerar a la calidad del agua y su gestión como un indicador de

desarrollo humano, lo adecuado sería que los productores procuren dar un adecuado manejo a sus actividades con la finalidad de mejorar la calidad del agua que ocupan en sus labores y proteger los recursos hídricos y el medio ambiente. Hay que tener en cuenta que en el Ecuador no se dispone de un análisis detallado, periódico y actualizado de la calidad del agua. Este factor se da debido al costo que representa el levantamiento de la información y la ausencia de una adecuada planificación. En este sentido, es aún más complicado tener información acerca de los índices de contaminación del agua producidos por las actividades productivas agropecuarias, lo cual es objeto de la presente investigación.

En este contexto, la Secretaría Nacional del Agua - SENAGUA, con el objetivo de establecer una línea base en cuanto a la calidad del agua de los cuerpos hídricos superficiales a nivel nacional, realizó monitoreos de varios ríos en las nueve Demarcaciones Hidrográficas durante los años 2013, 2014 y 2015. Se tomaron alrededor de 983 muestras de aguas superficiales a nivel nacional (364 en el año 2013 y 619 en el 2014, y 401 en el 2015). Se aplicaron criterios de calidad del agua de diferentes matrices previamente establecidas, mediante el Acuerdo Ministerial 097 (AM 097), el cual ha sido emitido por el Ministerio del Ambiente en el año 2015, y trata sobre la normativa vigente en cuanto a la calidad del agua a nivel nacional. Para objeto de este estudio de investigación se han procesado los datos de calidad del agua anteriormente mencionados, los que corresponden a la microcuenca del río Burgay. (Ministerio del Ambiente, 2015).

Además, los estudios puntuales relacionados a la calidad del agua de los cuerpos hídricos superficiales a nivel nacional, realizados por el organismo competente (SENAGUA), muestran que las principales fuentes de contaminación de los recursos hídricos en el país corresponden a las descargas de las actividades productivas de distinto orden y las aguas servidas que se arrojan desde las ciudades sin ningún tratamiento. Se identifica como actividades productivas de mayor impacto contaminante a la minera, petrolera, industrial y agropecuaria, esta última es objeto de análisis en la presente investigación para el caso de la microcuenca del Río Burgay.

4. Objetivos

4.1. Objetivo General

Elaborar una metodología de análisis mixto (cualitativo y validación cuantitativa) para la evaluación de la influencia de las actividades productivas agropecuarias en la calidad del agua de la Microcuenca del Río Burgay.

4.2. Objetivos Específicos

- Generar una metodología integral que reúna las variables determinantes del territorio, actividades agroproductivas y parámetros físico-químicos y microbiológicos del agua, para la construcción de un modelo de procesos.
- Cuantificar la influencia del uso del suelo agropecuario de la microcuenca del Río Burgay, sobre la calidad del agua.

CAPITULO I

MARCO TEÓRICO Y CONCEPTUAL

1.1 Marco Conceptual

1.1.1 Afloramiento rocoso

Parte de una formación geológica (roca, mineral o fósil) que aparece en la superficie y es directamente accesible y observable. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.2 Agroecología

La agroecología es una nueva conceptualización basada en una antigua forma de relacionarnos con la naturaleza y el producto de ella, recuperando el protagonismo del ser humano, el campesino, la familia y la comunidad. Es un enfoque que dinamiza el conocimiento ancestral y favorece la investigación participativa para el manejo de agroecosistemas de forma eficiente y sustentable; es así que la agroecología es una ciencia y a la vez genera una filosofía de vida para una convivencia armónica con la naturaleza. Es la única forma de realizar la soberanía alimentaria desde el control de la población, de la producción, distribución y consumo de alimentos. La Agroecología es una disciplina científica basada en la aplicación de los conceptos y principios de ecología en el diseño, desarrollo y gestión de sistemas agrícolas sostenibles. (Colectivo Agroecológico, 2009).

1.1.3 Calidad del agua

Se refiere a las características químicas, físicas, biológicas y radiológicas del agua. Es una medida de expresión de la condición del agua en relación con los requerimientos de una o más especies bióticas o a cualquier necesidad o propósito humano. Los estándares más comunes utilizados para evaluar la calidad del agua se relacionan con la salud de los ecosistemas, seguridad de contacto humano y agua potable. (Ministerio del Ambiente, 2015).

En el Ecuador para poder analizar la situación real del uso del agua, y de la calidad, será necesario investigar sobre los parámetros de calidad del agua respecto al Acuerdo Ministerial 097 A (AM 097A) el cual contiene la normativa nacional en lo que a calidad del agua respecta. En este sentido han sido identificados los criterios de calidad de agua para

los siguientes usos: consumo humano y doméstico que requieren tratamiento convencional o no; para la preservación de la vida acuática; y para uso agrícola en riego, entre los principales. (Ministerio del Ambiente, 2015).

1.1.4 Caudal de la fuente

Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo, generalmente se expresan en m³/s. Se puede realizar el análisis correspondiente aplicado al presente estudio de investigación, considerando que los caudales más voluminosos tendrán mayor oportunidad de que el agua fluya con rapidez y constancia, permitiendo a las fuentes disolver agentes externos. (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

1.1.5 Cobertura del suelo

Se refiere a los diferentes tipos de interacción de la superficie del suelo en cuanto a su cobertura vegetal y sus usos. Para los fines pertinentes de esta investigación hemos considerado como coberturas a bosques, matorrales, vegetación herbácea, cultivos de diferentes tipos, etc., que influirán en mayor o menor medida en la calidad del agua dentro de un territorio; a esto cabe agregar que mientras más cobertura vegetal natural con poco impacto rodee a los recursos hídricos, mayor será su aporte para que conserve una buena calidad del agua. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.6 Código Pfafstetter

Es una metodología para asignar identificadores o también denominados ID a unidades de drenaje basado en la topología de la superficie o área del terreno; asigna identificadores o códigos a una unidad hidrográfica, para relacionarla con otras unidades hidrográficas que contiene y además determinar las unidades hidrográficas con las que limita. (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

1.1.7 Cuenca hidrográfica

Cuenca es un término geográfico e hidrológico referido al área de captación y drenaje del agua de lluvia, que fluye hacia una corriente principal. Por lo tanto, es una unidad natural, que constituye la unidad territorial principal donde el agua proveniente del ciclo hidrológico, es captada, almacenada y está disponible para usos múltiples. Es así que, las

cuencas hidrográficas, además de ser los territorios donde ocurre el ciclo hidrológico, conforman los espacios geográficos donde grupos y comunidades comparten identidades, tradiciones, cultura, y en donde socializan en función de la disponibilidad de los recursos naturales. (Benez, M., Kauffer M., Edith F. et al, 2010).

Por esta razón, la cuenca hidrográfica puede ser una unidad adecuada para la gestión ambiental, a condición de que se logren hacer compatibles los intereses de los habitantes con sus actividades productivas en sus zonas funcionales. (Benez, M., Kauffer M., Edith F. et al, 2010).

1.1.8 Demarcación hidrográfica

Es la zona terrestre y marina que se constituyen por la agrupación de cuencas hidrográficas vecinas y las aguas de transición, subterráneas y costeras asociadas a dichas cuencas. En el Ecuador la Autoridad Única del Agua-SENAGUA, estableció y delimitó nueve Demarcaciones Hidrográficas, mediante el Acuerdo Ministerial No. 2010-66 del 20 de enero del 2010, publicado en el Suplemento del Registro Oficial No. 161 del 30 de marzo del 2010, y se han definido a las Demarcaciones como Unidades Administrativas Desconcentradas que hacen parte de la estructura hidrográfica, a través de las cuales se ejerce la planificación y gestión integrada e integral de los recursos hídricos en todo el territorio nacional (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

1.1.9 Drenaje

El drenaje de un suelo expresa la rapidez con que se elimina el agua sobrante en relación con las aportaciones. La clase de drenaje es un atributo del suelo que viene determinado por un conjunto de propiedades (estructura, textura, porosidad, existencia de una capa impermeable, permeabilidad, posición del suelo en el paisaje y color). (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.10 Elementos gruesos

Cualquier elemento grueso con cierto nivel de consistencia sólida dentro de los recursos hídricos. Al realizar el análisis aplicado a la presente investigación se considera que mientras más elementos gruesos sobre el agua, su calidad disminuye. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.11 Fertilidad del suelo

La fertilidad de un suelo es la capacidad que tiene el mismo de sostener el crecimiento de los cultivos o ganado. Resultante de la interacción de diversos factores que conllevan la propiedad de condición propicia para el crecimiento. El análisis correspondiente aplicado al presente estudio de investigación, identifica la vulnerabilidad que tiene el suelo a ser poco fértil ya que en esos casos será necesario el uso de insumos agropecuarios que muchas veces saturan con químicos al suelo y son arrastrados a los cuerpos hídricos, contaminándolos. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.12 Humedad del suelo

Se relaciona a los niveles de líquido contenido a partir de la consistencia del suelo. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.13 Inundabilidad

Sistemas de protección de las tierras en las que se combina la construcción de paredes de gaviones, diques de desviación, recanalización de cauces, muros de sedimentación y diseño de alcantarillas de drenaje, a fin de aumentar la infiltración y evitar la erosión hídrica. (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009).

1.1.14 Materia orgánica

Es el producto de la descomposición química de las excreciones de animales y microorganismos, de residuos de plantas o de la degradación de cualquiera de ellos tras su muerte. La materia orgánica incide directamente en la fertilidad del suelo. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.15 Microcuenca hidrográfica

Unidad territorial delimitada por la línea divisoria de sus aguas que drenan superficialmente hacia un cauce común. Se constituye como la unidad territorial de tercer orden de la demarcación hidrográfica; de segundo orden de la cuenca hidrográfica y de primer orden de la subcuenca hidrográfica (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

1.1.16 Nivel catiónico

Se refiere a la cantidad total de cargas negativas que están disponibles sobre la superficie de las partículas en el suelo, este valor nos indica el potencial de un suelo para retener e intercambiar nutrientes. El análisis correspondiente aplicado al presente estudio de investigación establece que si disminuye esta capacidad será necesario el uso de agentes externos (químicos) que pueden contaminar el recurso hídrico. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.17 Parámetros de calidad del agua

Los principales parámetros de calidad del agua de tipo físico, químico y biológico que se tomaron en cuenta para el análisis y el cálculo del ICA, son los siguientes:

- **Oxígeno disuelto:** Es uno de los parámetros más relevantes a la hora de evaluar la calidad del agua. Está asociado a la contaminación orgánica. Su concentración aumenta al disminuir la temperatura y la salinidad y posee una relación directa con la pendiente y la aireación del cauce. Cuando existen condiciones aeróbicas se produce una mineralización que consume oxígeno y produce gas carbónico, nitratos y fosfatos. Una vez que se consume todo el oxígeno comienza la descomposición anaeróbica que produce metano, amonio, sulfuro de hidrógeno y mercaptanos (Calvo, 2013). La unidad de medida corresponde a miligramos por litro, mg/l el cual se mide a través de un proceso técnico cuidadosamente elaborado desde el levantamiento de campo hasta el análisis de laboratorio, realizado esto por parte de la Secretaría del Agua.
- **Demanda Bioquímica de Oxígeno:** Otro de los parámetros de consenso mayor dentro de las diferentes metodologías especialmente de indicadores compuestos, se trata de un parámetro que representa la materia orgánica biodegradable. Es la más usada para determinar la eficiencia de los tratamientos que se aplican a los líquidos residuales. Este compuesto se presenta cuando ciertas sustancias presentes en las aguas residuales, al verterse a un curso de agua, captan el oxígeno existente debido a la presencia de sustancias químicas reductoras. Esta es una medida de la estimación de las materias oxidables presentes en el agua, cualquiera que sea su origen orgánico o mineral como el hierro, nitritos, amoníaco, sulfuro y cloruros.

Los niveles altos en el DBO se asocian al incremento del pastoreo, la concentración demográfica, vertidos orgánicos e inorgánicos, al aporte de material vegetal de los bosques, La tendencia general fue que la calidad del agua es mejor cuando la DBO es menor. (Hooda, P., Edwards, A., Anderson, H., & Miller, A., 2000).

- **pH o concentraciones de iones hidrógeno:** Es la concentración relativa de los iones hidrógeno en el agua, donde el nivel de concentración de dichos iones indicará si se produce un ácido débil, o si se comportará como una solución alcalina. Es una medición valiosa para interpretar los rangos de solubilidad de los componentes químicos. Esta mide la acidez o la alcalinidad del agua. La actividad del ión hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales. Estudios realizados por (Lemly, 1982) registraron un pH elevado en zonas ganaderas con pastoreo permanente por efecto de la concentración del nitrógeno y fósforo asociado a los sedimentos debido al pastoreo. (Calvo, 2013).
- **Temperatura:** Es uno de los parámetros físicos más importantes en el agua, pues por lo general influye de manera fuerte en el retardo o aceleración de la actividad biológica, la absorción de oxígeno, la precipitación de compuestos, la formación de depósitos, la desinfección y los procesos de mezcla, floculación, sedimentación y filtración. Múltiples factores, principalmente ambientales, pueden hacer que la temperatura del agua varíe continuamente, y de igual manera es recomendable que se considere los niveles de temperatura hacia el entorno y demás factores climatológicos como factor complementario del análisis. La unidad de medida que le corresponde son grados centígrados (°C).

En estudios comparativos realizados utilizando esta variable, la temperatura promedio registrada entre tratamientos de análisis en diferentes puntos de fuente hídricas se presentan temperaturas más altas en las pasturas como efecto de la ausencia de cobertura vegetal sobre el cauce.

En la existencia de diferencias pequeñas de temperatura los motivos pueden relacionarse más como producto de la temperatura ambiental que caracteriza a cada

época climática, más no, a un efecto de contaminación que se reflejaría en el incremento de la temperatura del agua. (Calvo, 2013).

- **Nitratos:** Este parámetro es analizado debido a que el agua con altas concentraciones de nitratos (NO_3^-) representa un riesgo para la salud, en infantes especialmente. La acción de la flora estomacal reductora puede transformar los nitratos en nitritos, capaces de convertir a la hemoglobina en metahemoglobina, inhibiéndose el transporte de oxígeno en la sangre llegando a provocar en el peor de los casos incluso el deceso del paciente. La unidad de medida correspondiente son miligramos por litro (mg/l).

La presencia de nitratos en un curso de agua puede atribuirse como parte de procesos naturales como los depósitos geológicos e incluso también al contacto con vegetación en descomposición o maltratada. Sin embargo, una de las fuentes principales de nitratos en el agua son los fertilizantes usados en la agricultura sobretodo en cultivos de ciclo largo. Los nitratos también se derivan de ciertos procesos químicos producidos por la aplicación de fertilizantes nitrogenados al suelo. (Calvo, 2013).

- **Fosfatos:** Se trata de una forma del ácido fosfórico que contiene fósforo, los fertilizantes, excreciones humanas y animales, detergentes y productos de limpieza son los principales causantes de fosfatos presentes en el agua. La unidad de medida que le corresponde son miligramos por litro (mg/l). Los compuestos del fósforo son nutrientes de las plantas y conducen al crecimiento de algas en las aguas superficiales, produciéndose la eutrofización. El fósforo de un agua puede proceder de: a) disolución de rocas y minerales que lo contienen, b) lavado de suelos en los que se encuentra como resto de actividades ganaderas o agrícolas, c) aguas residuales domésticas vertidas a las aguas naturales. (Mejía, 2005).
- **Coliformes fecales:** Se trata de un un grupo de especies bacterianas que incluye una amplia variedad de bacilos aerobios y anaerobios facultativos, mayormente presentes en las heces de organismos vivos, este parámetro se utiliza, como indicador de la presencia de microorganismos y así conocer el tipo, número y

desarrollo de las bacterias en el agua para prevenir o impedir enfermedades de origen hídrico. La detección de organismos patógenos como bacterias protozoarios y virus se complica demasiado muchas veces debido a sus bajas concentraciones, la amplia gama de consideraciones y microorganismo tratados en función del análisis de este parámetro esta detallado en documentos técnicos de la Organización Panamericana de la Salud, entre otros organismos que aportan al conocimiento y cuidado de la calidad del recurso hídrico.¹ La unidad de medida está expresada en NMP (número más probable)/100 ml.

Sólidos disueltos: Se trata del compilado integrado de la suma de los minerales, sales, metales, cationes o aniones disueltos en el agua, la tendencia general es que la menor concentración de sólidos disueltos totales corresponden a aguas de mejor calidad. La unidad de medida correspondiente son miligramos por litro (mg/l). Trabajos similares han sido desarrollados por Calvo.²

Amonio: El nitrógeno del suelo que es retenido como proteína de la materia vegetal y el nitrógeno que proviene de los fertilizantes se transforman microbiológicamente en amonio (NH₄) el cual se mide en miligramos por litro (mg/l), posteriormente el ion de amonio se oxida por la acción de dos grupos de bacterias (Nitrosomonas y Nitrobacter) convirtiéndose en NO₃ con un producto NO₂ intermedio inestable en un proceso llamado nitrificación, en este proceso el tipo de compuesto más usado en el Ecuador es la urea, la cual se hidroliza fácilmente en amonio potenciando, ahí también su incidencia fuerte e importancia en la afectación hacia el recurso hídrico, como se señala en el estudio de la FAO³.

1.1.18 Pedregosidad

Se trata de los tipo de suelo que contienen abundantes cantidades de piedras y/o material pétreo que impide la dispersión y arrastre de partículas, así entre más concentrado esté,

¹ Madigan, M.; Martinku, J. Y Parker, J. (1997). “*Biología de los microorganismos*”. Prentice Hall. Madrid. Octava edición. (p. 224).

² Calvo, J. 2013. Modelo de predicción de la calidad del agua en ríos basado en índices e indicadores del recurso hídrico y el entorno socio ambiental. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica.

³ FAO, 1997, Lucha Contra la Contaminación Agrícola de los Recursos Hídricos. (Estudio FAO Riego y Drenaje - 55), E.D. Ongley, GEMS/Water Collaborating Centre, Canada Centre for Inland Waters Burlington, Canadá

más favorece mantener a la fuente de agua aledaña libre de partículas arrastradas desde su entorno. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.19 Pendiente del terreno

Mide el nivel de inclinación de la superficie del suelo respecto de una referencia totalmente plana, este indicador influye en la capacidad de arrastre de partículas, hacia los cuerpos hídricos. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.20 Profundidad del suelo

Comprende el espacio del terreno hábil, desde su superficie hacia abajo, para interacción con la capa vegetal y para conducir nutrientes generalmente frente a la capa rocosa. Al realizar el análisis correspondiente aplicado al presente estudio de investigación se determina que mientras más profundo es un suelo, presentará mejores condiciones ya que la roca madre estará bajo varias capas de tierra y ese suelo será menos propenso a la erosión. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.21 Producción agrícola convencional, la revolución verde

La revolución verde fue iniciada por Norman Borlau, agrónomo estadounidense, hacia los años 50 y 60, se centró en el aumento de la producción, pero no se le dio suficiente importancia a la calidad nutricional. Este tipo de agricultura aumentó el uso de diversas tecnologías, tales como plaguicidas, herbicidas y fertilizantes, así como nuevas variedades de cultivos de alto rendimiento, en respuesta a la segunda guerra mundial, en respuesta a la segunda guerra mundial para aumentar la producción alimentaria mundial. (Gonzalez, 2006).

1.1.22 Ordenamiento territorial

La denominación de Planificación Territorial, Ordenación del Territorio u Ordenamiento Territorial, se conoce a la Ciencia Interdisciplinaria que es a su vez Ciencia Aplicada, Política y Técnica Administrativa, concebida con un enfoque interdisciplinario y global, que analiza, desarrolla y gestiona los procesos de planificación y desarrollo de los espacios geográficos y territorios, tanto Urbanos como Rurales, a menudo regiones administrativas determinadas de escala local, regional o nacional, según sus

posibilidades ambientales, económicas y sociales, propiciando su desarrollo sostenible. Se identifican tres facetas: Diagnóstico territorial, Planificación territorial y la Gestión territorial. (Orea, 2008).

1.1.23 Salinidad

Un suelo no alcalino que contiene sales solubles en tal cantidad que interfiere con crecimiento de la mayoría de los cultivos. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.24 Saturación de bases

Se refiere a la cantidad de iones cargados positivamente, con exclusión de iones de hidrógeno y aluminio, que son absorbidos por el suelo, permite determinar la capacidad de un suelo para actuar como un amortiguador frente a la acumulación de ácido y la posibilidad de que los minerales para filtrar desde el suelo. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.25 Textura del suelo

La proporción relativa de las diferentes partículas de suelo. Estas partículas incluyen arena, limo y arcilla, caracterizadas por un rango definido de tamaños.

1.1.26 Toxicidad del suelo

Se denomina toxicidad al grado de efectividad que poseen las sustancias que, por su composición, se consideran tóxicas. Se trata de una medida que se emplea para identificar al nivel tóxico del suelo. Se puede realizar el análisis correspondiente aplicado al presente estudio de investigación, considerando que un suelo tóxico tiene mayor propensión a su degradación paulatina, llegando a erosionarse en cualquier momento, lo cual afecta directamente a los cuerpos hídricos circundantes debido a la pérdida de la capa vegetativa que protege del arrastre de material hacia los ríos. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.27 Uso del suelo

Comprende las acciones, actividades e intervenciones que realizan las personas sobre un determinado tipo de superficie para producir o realizar diferentes propósitos, para fines de nuestro estudio comprende: agrícola, agropecuario, antrópico, conservación y producción

principalmente. Al realizar el análisis correspondiente aplicado al presente estudio de investigación, se determina que el uso del suelo influye en mayor o menor medida en la calidad del agua dentro de un territorio según la sustentabilidad y las buenas prácticas que se apliquen. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015).

1.1.28 Usos del agua

Los usos del agua de conformidad con el artículo 88 de la Ley Orgánica de Usos y Aprovechamientos del Agua (LORHUyA), se refiere a la utilización del agua en actividades básicas indispensables para la vida, como el consumo humano, el riego, la acuicultura y el abrevadero de animales para garantizar la soberanía alimentaria, en los términos establecidos en la Ley. (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2014).

El tipo de uso o aprovechamiento productivo del agua que ha sido considerado en la presente metodología es el riego productivo:

- **Riego productivo:** Es una actividad consuntiva del agua, a través de la cual ésta es suministrada artificialmente para complementar el requerimiento hídrico de los cultivos. Este uso y aprovechamiento del agua corresponde a los usuarios con caudales mayores o iguales a cinco litros por segundo, así como los usuarios que utilizan el agua para abrevadero de animales. (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2014).

1.2 Marco Teórico

1.2.1 Diagnóstico de la división hidrográfica a nivel Nacional, delimitación de una microcuenca hidrográfica

En el Ecuador la necesidad de la división hidrográfica ha sido contemplada desde el año 1989, a través del antiguo Instituto Ecuatoriano de Recursos Hidráulicos (INERHI), el cual presentó un mapa a escala 1: 1 000 000, con 31 sistemas hidrográficos y 80 cuencas.

En el año 2002, se generó un proyecto dirigido a elaborar un mapa con las unidades hidrográficas actualizadas, coordinado por el CNRH y las siguientes instituciones: MOP, INAMHI, Subsecretaría de Agua Potable y Saneamiento Básico, CONELEC, CLIRSEN, DINAREN; es así que se definieron en la Vertiente del Pacífico 72 cuencas hidrográficas, y

en la Vertiente del Amazonas siete cuencas hidrográficas. Posteriormente se definieron 137 subcuencas y aproximadamente 890 microcuencas. En el año 2008, con el uso de la metodología Pfafstetter, la UICN elaboró el mapa de delimitación y codificación de unidades hidrográficas de Sudamérica a escala 1:1'000.000, hasta el nivel 3.

El recurso hídrico en el Ecuador se subdivide en dos Sistemas Hidrográficos: Océano Pacífico y Amazonas, lo cual se puede observar en la Tabla 1:

Tabla 1 Características sobresalientes de los sistemas hidrográficos del Ecuador

Sistema hidrográfico	Demarcación Hidrográfica	Precipitación media anual (hm3)	Escurrentia anual (hm3)	Capacidad media de los recursos hídricos subterráneos a largo plazo (hm3)	Volumen total de recursos hídricos (hm3)
Océano Pacífico	Mira	10169	7729	878	7 753
	Esmeraldas	70271	41983	7 790	43 131
	Manabí	11686	6270	1 112	6 690
	Guayas	68359	39041	10 479	43 690
	Jubones	9346	6945	1 214	7 065
	Puyango-Catamayo	11662	9244	772	9 244
	Totales	181 492	111 212	22 246	117 574
Amazonas	Napo	208 502	132 154	20 893	137 882
	Pastaza	85 806	47 930	8 467	50 111
	Santiago	82 762	70 451	4 950	70 451
	Totales	377 070	250 534	34 310	258 444
Promedio anual	Región Costa	108 123	63 685	15 137	70 046
	Región Sierra	91 367	59 725	8 381	59 725
	Región Amazónica	359 073	238 337	33 037	246 246
	Total Nacional	558 563	361 747	56 556	376 018

Elaboración propia
Fuente: Plan Nacional del Agua, 2016

La Tabla 1, presenta la actual división hidrográfica en el Ecuador, de la siguiente manera: el sistema hidrográfico del Océano Pacífico y el sistema hidrográfico del Río Amazonas; cada uno de ellos posee Demarcaciones hidrográficas y según la actual división hidrográfica del país, estas tienen sus respectivas subdivisiones a menor escala, según los niveles de clasificación pfafstetter empleados en la actualidad para la identificación de las cuencas y microcuencas.

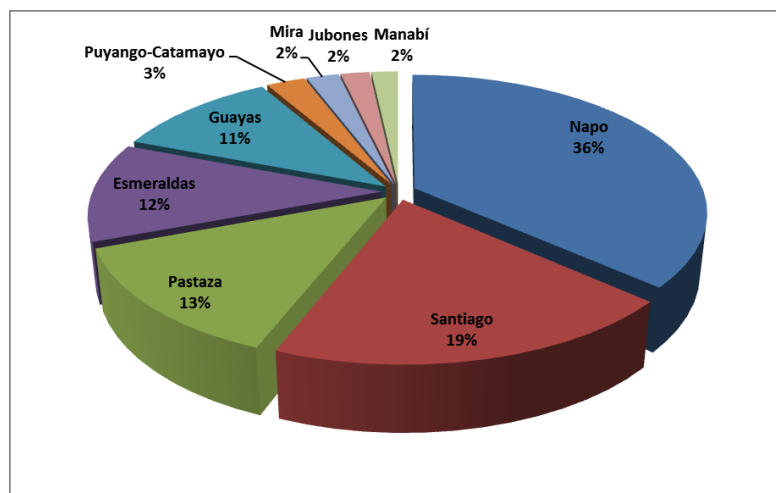
En el sistema hidrográfico del Océano Pacífico, se localizan las siguientes Demarcaciones: Mira, Esmeraldas, Manabí, Guayas, Jubones, Puyango Catamayo. En el sistema Amazonas se localizan las Demarcaciones: Napo, Pastaza y Santiago.

El volumen promedio de agua en el Ecuador superficial y subterránea, es de 376018 hm³. En la Costa, Sierra y Amazonía, la cantidad media anual de recursos hídricos es de 70046 hm³, 59725 hm³ y 246246 hm³, respectivamente. (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

El volumen generado por escorrentía de los recursos hídricos superficiales a nivel nacional es de: 361747 hm³. (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

Por ejemplo, en la Demarcación Hidrográfica de Napo, se localiza la escorrentía media máxima anual con 132154 hm³. Además en la D.H. Napo la capacidad media de los recursos de agua a largo plazo, tiene a nivel nacional, un porcentaje del 36,7%. Por otro lado, en la D.H. Manabí se localiza el mínimo volumen de escorrentía anual correspondiente a 6270 hm³, adicionalmente la capacidad media de los recursos de agua corresponde a 1,8 % del total del volumen a nivel nacional. La cantidad de agua superficial de cada una de las DH, se pueden ver en la Figura 1.

Figura 1 Volumen de recursos hídricos superficiales por Demarcación Hidrográfica, en Ecuador



Fuente: (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

Al revisar y contrastar la información del Plan Nacional del Agua, elaborado en el año 2016 por la SENAGUA (Tabla 2), se puede observar que las áreas con exceso anual de agua de más de 3000 mm se distribuyen en los cantones Gonzalo Pizarro y Arajuno, localizados en la D.H. Napo; mientras que las áreas con un déficit anual total de agua de

más de 1000 mm se distribuyen principalmente en el cantón Manta, de la D.H. Manabí; Pedro Moncayo, de la D.H. Esmeraldas; Saraguro, de la D.H. Jubones, y en los alrededores de Catamayo, de la DH. Puyango-Catamayo, donde el déficit anual de agua es de 1450 mm, que es el máximo déficit del país.

En la Tabla 2, se muestra los valores de exceso o déficit anual para cada una de las demarcaciones hidrográficas en el Ecuador:

Tabla 2 Déficit o superávit hídrico anual para las nueve Demarcaciones Hidrográficas (DH), definidas para el territorio ecuatoriano

Demarcación Hidrográfica	ÁREA (km ²)	Superávit (+) o déficit (-) hídrico anual (mm)
Esmeraldas	32,043	1,198
Guayas	44,532	479
Jubones	10,527	-392
Manabí	11,502	-301
Mira	6,904	579
Napo	65,325	2,079
Pastaza	32,128	1,981
Puyango-Catamayo	10,900	-207
Santiago	34,479	1,079
NIVEL NACIONAL	248,339	1,170

Fuente: (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

1.2.2 La cuenca hidrográfica, como unidad territorial de análisis para el adecuado manejo de los recursos hídricos

La cuenca hidrográfica es considerada como la unidad de análisis territorial y planificación, sobre la cual se realizará la evaluación de la calidad del agua dentro de los sistemas hídricos loticos superficiales, entorno a determinar la situación actual de los ríos con respecto a su calidad, ya que mientras mejores condiciones reúnan los recursos hídricos en cuanto a su calidad, demuestra que el manejo de los recursos hídricos es sustentable dentro de un territorio determinado. Cabe mencionar que la planificación territorial es un mecanismo muy importante para brindar directrices que apunten al cuidado de los recursos hídricos. El análisis geoespacial a nivel de microcuenca, permite considerar los aspectos importantes que la caracterizan, para que los actores que son tomadores de decisión, puedan aplicar mecanismos que contribuyan al desarrollo socioeconómico y la conservación de los recursos naturales en el país.

A través de la presente investigación se propone una metodología cuantitativa para el cálculo de un índice de calidad del agua, a la vez, proponer un modelo cualitativo y cuantitativo, los cuales podrán ser aplicados en aquellos sectores dentro de una microcuenca, para la evaluación de la calidad del recurso. En este estudio se realizó la aplicación de dicha metodología en la microcuenca del río Burgay, localizada en la Demarcación Hidrográfica de Santiago. Esta propuesta, en función de su aplicabilidad en el análisis de la influencia de las actividades agropecuarias sobre la calidad del agua, servirá como un instrumento de análisis y sustento para proponer actividades que contribuyan a una adecuada gestión de los recursos hídricos.

Además, a consecuencia de un mal manejo en este tipo de actividades agropecuarias, las cuales son objeto de análisis en la presente investigación, se depositan considerables cantidades de elementos químicos en los recursos hídricos, por ejemplo: nitrógeno, fósforo, potasio, metales, los cuales alteran la composición química del agua. Este factor constituye una amenaza inminente para el medio ambiente y para la sustentabilidad de las actividades agro-productivas, lo cual implica la afectación en la calidad del agua superficial y subterránea, además del agotamiento de este recurso. (Fernández, 2010).

Al proponer acciones relacionadas con la planificación y gestión del territorio de las cuencas hidrográficas, se facilita el manejo y gestión, y, de esta manera, se contribuye a minimizar los impactos en la calidad del agua, provocados por las diversas actividades agro-productivas.

Es muy importante considerar, que la variabilidad climática, influencia directamente en las actividades agropecuarias, el cambio del clima influye en esta actividad, ya que depende de la biodiversidad y de las condiciones ambientales del entorno. Es importante recalcar que las fuentes de agua dulce, el suelo fértil, el equilibrio ecológico, la temperatura del aire y las condiciones atmosféricas, son factores determinantes para la productividad agrícola y su mantenimiento. (Clements & Haggar, 2011). Es así que hoy en día en el Ecuador y en otras partes del mundo, se ven marcados los cambios de ciclos en las épocas de precipitación y épocas secas, alterando las temporadas de siembra y cosecha de los cultivos, por esta razón, muchas veces la productividad, se ve afectada por los bruscos cambios climáticos y tiende a disminuir, además, el cambio climático trae como

consecuencia la disminución de la cantidad y calidad del agua, apta para consumo humano y para el riego de los cultivos, afectando la producción agropecuaria y la soberanía alimentaria de los pueblos. (Clements & Hagggar, 2011). Otra de las consecuencias del cambio climático es el aumento del nivel del mar, lo cual ocasiona que la salinidad se introduzca en el agua subterránea y en fuentes de agua dulce superficial, que además del aumento de la temperatura, aceleran su contaminación.

1.2.3 Ordenamiento territorial del sector agropecuario, aplicado dentro de una microcuenca hidrográfica

En el tema de planificación territorial para el desarrollo, aplicado dentro de una microcuenca hidrográfica, es importante mencionar algunas actividades alternativas en torno a la agro producción, que contrarrestan los efectos adversos del cambio del clima o de otros factores antrópicos, como el uso excesivo de fertilizantes, que pueden acelerar la degradación de los recursos naturales del territorio, sean estos, aire, suelo o agua. Es así que la agroecología es una alternativa viable frente al cambio climático y agentes externos, ya que los sistemas de producción agroecológicos promueven a que los pequeños agricultores utilicen prácticas como la rotación de cultivos, el compost, abonos verdes o cultivos de cobertura y la agro-silvicultura, y consideren las aptitudes originales que tienen los suelos. Todas estas prácticas incrementan la producción de biomasa y por lo tanto se acumula la materia orgánica, evitando la erosión del suelo, que finalmente afectan a los cuerpos hídricos que se encuentran cercanos. A todo esto, cabe añadir que los sistemas de manejo sustentable del suelo, son aquellos que mantienen la materia orgánica, y son muy importantes para la producción agropecuaria en donde el promedio anual de precipitaciones sea bajo. (Clements & Hagggar, 2011).

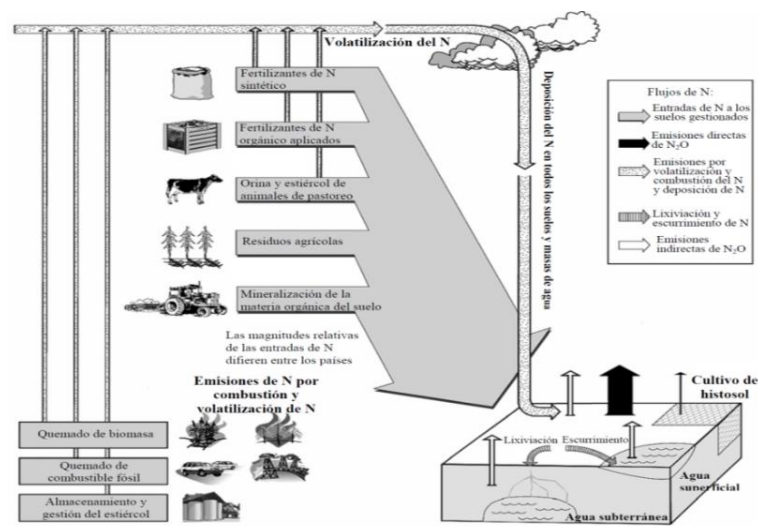
El ordenamiento territorial, debe tomar en cuenta variables sociales, productivas, económicas, incluso enfoques de género y etarios, para una mejor redistribución planificada de las actividades y servicios en el territorio, con este enfoque social, se realizó el análisis de la microcuenca del río Burgay, donde se identificó, la cantidad de población que existe y, de qué manera se encuentra distribuida en cada una de las parroquias y cantones que conforman la microcuenca. Las actividades económicas de la población, se encuentran identificadas en el diagnóstico integrado del territorio, y de esta información, se

conoce que la actividad agropecuaria, ocupa el lugar principal en la dinámica territorial, por lo cual, es el elemento central del estudio. De manera integral conocer las características biofísicas del entorno servirá para plantear criterios que ayuden a una adecuada planificación y ordenamiento de las actividades agropecuarias a favor del desarrollo del territorio.

1.2.4 Los factores ambientales del territorio, su relación con la producción agropecuaria y la influencia en la calidad del agua dentro de una microcuenca hidrográfica

La Figura 2, ha sido elaborada por el Panel intergubernamental de expertos del cambio climático (IPCC), en el año 2006, muestran que los procesos de quema de biomasa y almacenamiento de estiércol, incluso como fertilizante orgánico, afectan a los factores ambientales del territorio, es así que inciden en el aire a través de gases de efecto invernadero, que luego se fijan en el suelo y por procesos de lixiviación y escurrimiento terminan afectando también al agua; de manera similar, ocurre con los procesos de aplicación directa de fertilizantes químicos (sobre todo nitrogenados) al suelo, que terminan afectando el recurso hídrico por los mismos procesos de lixiviación y escurrimiento, a partir de los cuales incluso las fuentes de agua subterránea de ven afectadas. (IPCC, 2016).

Figura 2 Diagrama Esquemático de afectaciones de la actividad agrícola al suelo, aire y agua



Fuente: (IPCC, 2006)

A través de una revisión bibliográfica, se ha identificado la relación estrecha que existe entre los factores ambientales (biofísicos y geofísicos) en la calidad del agua dentro de un

territorio (Jiménez & Vélez, 2007). El uso de la tierra juega un papel importante en la influencia sobre la vulnerabilidad de los recursos hídricos, en cuanto a su calidad y cantidad, he allí, la importancia de procurar sostener las buenas prácticas en el uso del suelo, para que los impactos sobre los recursos naturales no sean tan fuertes. (MITCHELL, ELLSWORTH, & MEEK, 1991). Se han determinado los factores geofísicos, tales como el relieve, los suelos y el clima, que están presentes en la unidad de análisis.

Además, se analizaron los factores biofísicos, y se concluye, que las áreas ocupadas por cobertura vegetal natural poco alterada, aportan positivamente para que la calidad del agua mejore, mientras que las áreas ocupadas con cultivos y actividades agropecuarias, en general disminuyen la calidad del recurso en la microcuena del río Burgay. Un claro ejemplo de ello, lo menciona Stadmuller (1994), quien indica que las coberturas boscosas influyen en una buena calidad del agua, ya que regulan los sedimentos que desembocan a los cuerpos hídricos, porque ofrecen una protección adecuada a los suelos, esto repercutirá en los valores de turbidez, temperatura y oxígeno disuelto en el agua.

La erosión del suelo está relacionada con la contaminación de los recursos hídricos (Sing, 1989), ya que se producen sedimentos a consecuencia de la pérdida de la capa vegetal, provocadas por la expansión urbana y las actividades agropecuarias, las cuales son objeto de la presente investigación. Además, los procesos hidrológicos, inundaciones, escorrentía y la sedimentación, están directamente influenciados por el tipo de uso del suelo, que se da lugar dentro del territorio. Cabe mencionar que cuando escasea la cobertura vegetal, y las precipitaciones son abundantes, la escorrentía aumenta, según Goldman, citado por Rosal (1986). (Goldman, 1986). Así los agregados del suelo se rompen y son arrastrados hacia los cuerpos hídricos. Es así que las corrientes de agua, arrastran estos sedimentos hacia la parte baja de las cuencas, donde se identificará una mayor vulnerabilidad en la calidad del agua. (Montoya, Contreras, & García, 1997).

Es importante considerar, que la conservación de la cobertura vegetal natural de las quebradas (arbustos y matorrales), evitan que los sedimentos y nutrientes del suelo sean arrastrados por las corrientes (Wagner, 1996). Es así que, la vegetación riparia se convierte en zona de protección de las quebradas, ya que posee efectos positivos en estos ecosistemas, y por tanto en la calidad del agua. (Barling & Moore, 1994).

Existen actividades que aceleran la contaminación progresiva de los ríos, un claro ejemplo de esto, es la tala de los árboles, la quema de los terrenos para reemplazar su uso original con cultivos, la ganadería extensiva o intensiva con mal manejo, la expansión de las zonas urbanas sin una planificación, conjuntamente con ciertos procesos naturales, como la escorrentía, producen que se acumulen grandes cantidades de sedimentos en los ríos. Es así que, los estudios realizados (Fernández, 2010), demuestran que al analizar los temas del uso del suelo y la cobertura de la tierra simultáneamente con resultados de índices de calidad del agua, pueden ser puntos de partida para identificar maneras que contribuyan al buen manejo de una microcuenca hidrográfica.

1.2.5 Influencia de la actividad pecuaria en la afectación a los suelos y agua

Por un lado, el uso intensivo del suelo destinado a actividades ganaderas, se relaciona con exceder la capacidad de carga en determinada superficie, con el número de cabezas de ganado permitidas. De allí se derivan algunos fenómenos, como la erosión del suelo, debido a las pisadas de los animales y la fermentación entérica, la cual es una de las principales fuentes de generación de metano y óxido nitroso que es liberado a la atmósfera. También originan acumulación de nutrientes en el suelo y en los cuerpos hídricos superficiales, todo esto incide directamente en el cambio climático, e influye en la contaminación del agua, lo cual consideramos en la presente investigación.

Los mayores efectos en la calidad del agua que se derivan de la actividad pecuaria, se evidencian en lugares de alta precipitación y fuertes pendientes, que se localizan cerca de los recursos hídricos. (Brooks & Gregersen, 1991). Cabe añadir que el ganado que pasta muy cerca de los ríos contribuye al incremento de colonias de bacterias en el agua, produciendo contaminación microbiológica. Cuando la actividad pecuaria es intensiva o se evidencia un sobrepastoreo, provoca el arrastre de sedimentos y material del suelo hacia las fuentes hídricas, ya que el pisoteo del ganado debilita el suelo disminuyendo la infiltración, sumada a la lluvia con intensidad y fuertes pendientes, la capacidad de carga del suelo se satura y viene el arrastre producido por la escorrentía y lixiviación, contaminando el agua con nutrientes u otros elementos. (Vidal, López, & Santoalla, 2000).

La gestión del estiércol constituye otra fuente de afectación al recurso hídrico, más allá de generar importantes niveles de emisión de gases de efecto invernadero, el proceso de

eliminación incluye sistemas de gestión líquido abierto, en la gran mayoría de unidades productivas, sobre todo, en las de menor tecnificación, y por tanto, más dispersas. Esta gestión del estiércol en líquido, implica necesariamente un desfogue ulterior hacia riachuelos, lagunas, curso de ríos derivados o vertientes aparentemente menores, que al final desembocan en fuentes de mayor importancia, lo cual terminan incidiendo en la calidad del agua de fuentes aledañas.

1.2.6 Las actividades agrícolas como factor de afectación en la vulnerabilidad de la calidad del agua.

Adicionalmente, a la producción pecuaria, las actividades agrícolas poseen una influencia directa en la cantidad y calidad del agua. Es así que, los datos de la FAO en un reporte del año 1993 señalan que un buen porcentaje de los recursos hídricos de agua dulce del mundo son usados para la agricultura, lo cual significa que esta actividad es el principal factor de la degradación del agua, considerando procesos vinculados como la erosión y la escorrentía química, entre otros. (Rickert, 1993).

Además, la agricultura provoca procesos relacionados con el arrastre de sedimentos, ocasionando la degradación de la biomasa, la erosión laminar y en cárcavas que provocan altos niveles de turbidez en los cuerpos loticos superficiales cercanos, así se incrementan los niveles de vulnerabilidad de la calidad del agua. Uno de los principales agentes contaminantes es el nitrato, el cual llega a los ríos por efectos de la lixiviación, desde zonas agrícolas, que utilizan excesivamente fertilizantes químicos, su porcentaje en el agua disminuye cuando se establecen buenas prácticas agroproductivas, a favor de la conservación de los suelos. (Wagner, 1996).

Considerando lo más importante de las ideas expuestas en cuanto a la influencia de las actividades agropecuarias en la calidad del agua, cabe mencionar, que la afectación del agua, parte de cuan alterados estén los suelos. Por un lado está la eutrofización de las aguas superficiales, la cual es ocasionada por agentes antrópicos, debido a la adición excesiva de nutrientes en el agua, provocando que proliferen la materia orgánica en la misma, y la agricultura es la principal fuente de eutrofización de los recursos hídricos, presentando los siguientes síntomas: la producción de biomasa (algas, fitoplancton) se ve aumentada, disminución de variedad de peces, desoxigenación del agua, además el agua no puede

usarse con fines recreativos por la presencia de lodo, malas hierbas y malos olores que son producidos por el crecimiento de algas. Es así que el agua se contamina por la presencia de nitratos, que ya no contiene las condiciones necesarias para que el agua sea apta para consumo humano. (Ongley, 1997).

Cabe mencionar, que los usos agrícolas que se realizan con una mala ordenación del territorio y con prácticas agrícolas que no son sustentables con el medio ambiente, son una de las principales causas de erosión de los suelos, lo que ocasiona también significativas pérdidas de nutrientes, y por lo tanto afectan a los cuerpos hídricos cercanos a estos lugares. Sin embargo, cabe mencionar que los desechos orgánicos, y el estiércol, al concentrarse en grandes cantidades, pueden sobrecargar a los suelos de nutrientes y volverse más peligrosos que los fertilizantes químicos, influyendo así en la calidad del agua. (Ongley, 1997).

1.2.7 Incidencia directa de los insumos de producción agropecuaria en el aire, suelo y agua

En cuanto al tema del uso excesivo de fertilizantes en el suelo para los cultivos agrícolas, cabe mencionar que estos aceleran ciertos procesos de afectación contaminante, tal como la erosión, en donde se degrada la biomasa, además de ocasionar eutrofización en el agua, la cual se ocasiona por la penetración de fertilizantes en el suelo, que afecta su composición química y finalmente se infiltra en el agua, disminuyendo su calidad. Otro fenómeno es la nitrificación, ocasionado por la saturación del suelo con fertilizantes nitrogenados, los cuales llegan a contaminar las fuentes hídricas por procesos relacionados con la lixiviación, infiltración, eutrofización.

Es así que, la falta de precaución y manejo técnico en el uso de aguas de riego, para los diferentes cultivos agrícolas se asocia fuertemente con una marcada pérdida de nitrógeno de los insumos. Sabemos que el nitrógeno es un elemento vital para los seres vivos, este se transforma en nitrato, una vez que se incorpora a la capa arable. En el caso de la incidencia de los fertilizantes hacia las fuentes hídricas el nitrato juega un papel importante, este elemento puede provenir de materia fecal o de agroquímicos nitrogenados empleados para incrementar el rendimiento de los cultivos, sobre todo, los que en nuestro

territorio se han identificado como más extensivos, los nitratos como tales, son sales químicas indispensables para el crecimiento de los vegetales y los animales.

Como lo señalan (Peñaloza & Chávez, 2012), la llegada de los efectos de los fertilizantes nitrogenados hacia las fuentes hídricas, se dan principalmente a través de los nitratos: ...*“Cuando se acumula en el suelo una cantidad de nitratos mayor a la que las plantas puedan asimilar, el agua de riego y lluvia hacen que se trasladen hasta las fuentes hídricas⁴. La velocidad de este proceso depende del tipo de suelo. Los riesgos de contaminación por regadíos varían según el sistema y frecuencia, las características del suelo (permeabilidad, profundidad, pendiente, nivel de la capa freática) y las prácticas agronómicas (modalidad del abonado, rotación de cultivos, laboreo del suelo). El riego disuelve los nitratos y los arrastra”...*

Otro de los procesos importantes que se vinculan a las afectaciones de los insumos nitrogenados, es la generación de óxido nitroso y el sobre-enriquecimiento de los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, lo cual trae consigo el crecimiento rápido y excesivo de la vegetación, algas y plantas acuáticas en un proceso denominado “Eutrofización”, cambiando la composición biológica del interior de las fuentes. El regadío puede facilitar la contaminación nítrica mediante el movimiento de las aguas aportadas, éstas circulan de forma abierta y prolongada creando canales paralelos, tanto en sentido vertical, desde la superficie a los estratos más profundos (lixiviación), como horizontalmente por escorrentía superficial (lavado). La cantidad de este elemento lavado aumenta de manera importante con el caudal de riego, esparciendo los compuestos hacia las fuentes para un mismo aporte de fertilizante nitrogenado.

He ahí, que la incorporación en exceso de diversas fuentes nitrogenadas al sistema agua-suelo, pone en riesgo a los sistemas circundantes a los cultivos, y consecuentemente se puede afectar la calidad del agua potable por nitratos, con posibilidades de ocasionar también problemas de salud pública. Las dosis de aplicación de los fertilizantes, deben calcularse de acuerdo a su concentración de nitrógeno, porcentaje de nitrógeno mineralizable que estará disponible, así como la demanda nutricional del cultivo.

⁴ Propuesta De Un Plan De Manejo De Los Fertilizantes Nitrogenados Y Del Agua Remanente Producida En El Cultivo De Helecho De Cuero Rumohra Adiantiformis, Estudio De Caso De La Finca Vista Bella, Marta Cecilia, Peñaloza Castro, Álvaro, Chávez Porra, Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá D.C., Colombia, 2012

Los principales elementos de derivación de elementos contaminantes, son los mismos procesos hidrológicos fundamentales que relacionan las precipitaciones, la escorrentía y la lixiviación, que dan lugar a la erosión y transporte de partículas de suelo químicamente enriquecidas, que son componentes importantes de la química ambiental, el transporte y el destino de los productos fertilizantes.

En función de un mayor entendimiento de los procesos químicos relacionados, debemos señalar que el nitrógeno se presenta en las siguientes formas: N orgánico soluble, NH₄-N (amonio), NO₃-N (nitrato), NO₂-N (nitrito) y N asociado a los sedimentos como NH₄-N intercambiable o N orgánico, en cuanto a los procesos relacionados a insumos agrícolas se refiere. Realizando un análisis sobre el consumo de fertilizantes nitrogenados en el Ecuador, se encuentra que prácticamente no se producen fertilizantes químicos, y el consumo en el país se da totalmente sobre producto importado, así entre los principales insumos agrícolas utilizados para los cultivos tenemos:

- Urea
- Nitrato de amonio
- Fosfato diamónico
- Sulfato de amonio
- Nitrato de calcio
- Fosfato Monoamónico
- Nitrato de potasio
- Nitrato de sodio

Los ocho elementos enlistados, son mayormente nitrogenados, y, como vimos en las tablas de uso de fertilizantes, son éstos los aplicados en los cultivos más importantes y, de igual manera, los que tienen una mayor incidencia negativa hacia el medio ambiente, vulnerando la calidad de los recursos hídricos. En la tabla 3, se visualiza el consumo histórico de fertilizantes químicos nitrogenados:

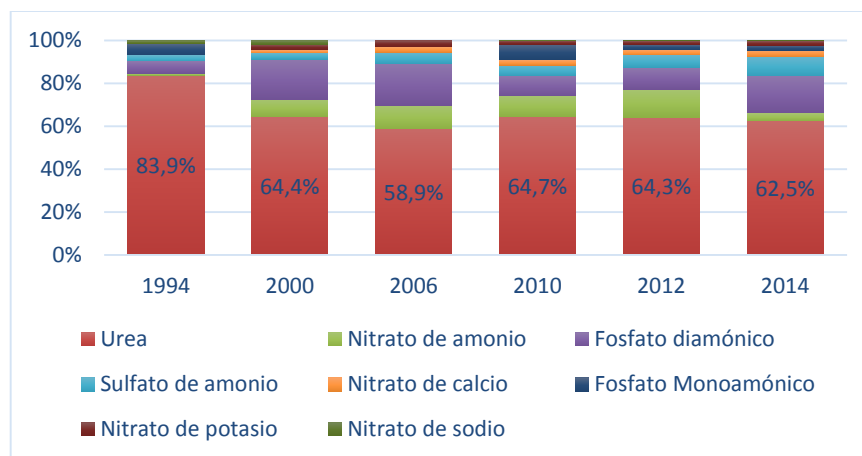
Tabla 3 Serie histórica del consumo de fertilizantes químicos nitrogenados en Ecuador

Toneladas de consumo						
Fertilizante	1994	2000	2006	2010	2012	2014
Urea	133.340,45	172.370,38	202.338,20	276.302,72	295.276,24	294.262,27
Nitrato de amonio	1.249,80	21.962,92	37.127,91	41.292,83	59.175,34	17.829,90
Fosfato diamónico	9.103,95	49.911,14	67.206,73	40.327,28	46.845,39	82.597,10
Sulfato de amonio	4.412,10	7.929,66	17.375,05	20.116,67	26.566,93	40.198,78
Nitrato de calcio	124,82	3.755,39	9.570,44	10.857,82	11.461,59	15.206,70
Fosfato Monoamónico	8.310,04	572,55	477,62	30.717,43	11.429,99	10.258,34
Nitrato de potasio	289,82	6.088,03	9.151,52	7.281,08	7.580,98	9.560,81
Nitrato de sodio	2.100,14	5.071,21	0,00	368,39	659,64	1.220,40
TOTALES	158.931,10	267.661,26	343.247,47	427.264,22	458.996,10	471.134,30

Elaboración propia
Fuente: (FAOSTAT, 2014)

El peso porcentual del consumo de la urea frente al total de toneladas consumidas de fertilizante nitrogenado (incluyendo los demás compuestos) se ha mantenido estable como el de mayor importancia alrededor de los años, habiendo sido en los noventas su punto más alto de participación en el total, al 2014 su peso porcentual frente al resto de fertilizantes llega a un 62,5% medido en toneladas consumidas en el país (ver ilustración 1).

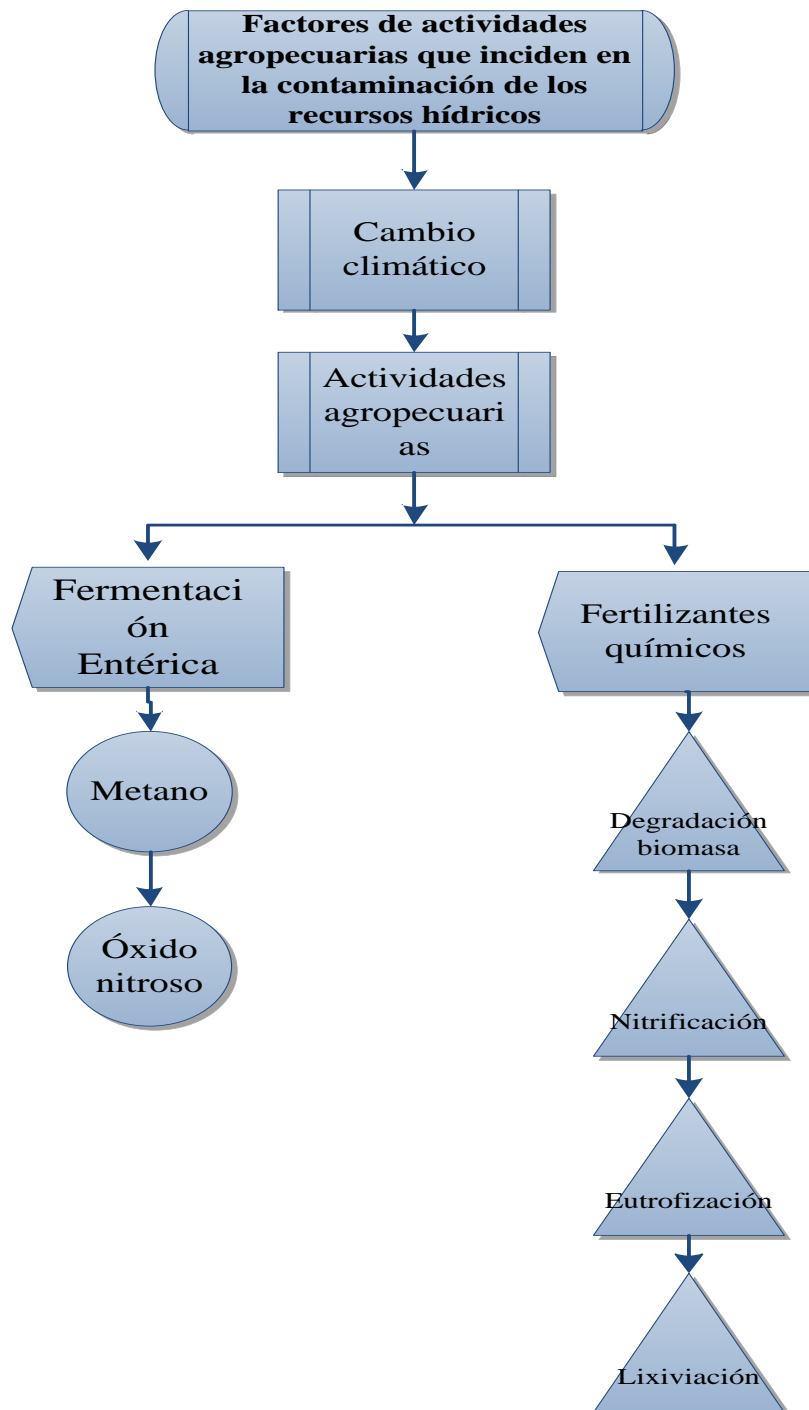
Ilustración 1 Peso porcentual por tipo de fertilizante respecto del total consumido en el Ecuador



Fuente: (FAOSTAT, 2014)

En definitiva, como parte fundamental de la presente investigación está el análisis pormenorizado de la afectación del suelo a causa de los insumos agrícolas, ya que siendo la actividad agropecuaria un rubro económico de explotación primaria de la tierra preponderante en el territorio de análisis, el suelo constituye el parámetro referencial para medir y profundizar el estudio sobre la afectación hacia el recurso hídrico (ver figura 3).

Figura 3 Factores de actividades agropecuarias que inciden en la contaminación de los recursos hídricos



Elaboración propia

1.2.8 Incidencia de elementos químicos en la vulnerabilidad de suelos y agua

El nitrógeno que deriva luego en óxido nitroso se produce naturalmente en los suelos a través de los procesos de nitrificación y desnitrificación. La nitrificación es la oxidación microbiana aeróbica del amonio en nitrato y la desnitrificación es la reducción microbiana anaeróbica del nitrato en gas de nitrógeno (N₂). Así el óxido nitroso es un producto intermedio gaseoso en la secuencia de reacción de la desnitrificación y un producto derivado de la nitrificación que se fuga de las células microbianas al suelo y, en última instancia, a la atmósfera (IPCC, 2006). Un incremento del nitrógeno disponible para la gran mayoría de cultivos, o coberturas en actividades agropecuarias produce un incremento de las tasas de nitrificación y desnitrificación. Los aumentos del nitrógeno disponible pueden producirse por agregados de este elemento que han sido inducidos por el hombre o por cambios en el uso de la tierra y/o en las prácticas de gestión que mineralicen el nitrógeno previamente presente en el suelo sea incluso orgánico.

El óxido nitroso se genera entonces al darse una inducción directa de nitrógeno hacia el suelo mediante los insumos fertilizantes que el hombre incorpora a los cultivos en la actividad agrícola, y su afectación aunque directamente derivada hacia el aire también luego puede repercutir en vulnerabilidad de las condiciones de calidad de las fuentes de agua adjuntas, esto a manera de ejemplo de lo que la presencia antrópica de nitrógeno puede causar de manera abierta al entorno.

Para denotar la incidencia de la utilización de fertilizantes, sobre todo los nitrogenados, en la calidad del suelo y de ahí la calidad del recurso hídrico como tal, la presente investigación recabó y analizó los datos de uso de fertilizante según los diferentes tipos de cultivo agrícola con mayor importancia en el país, que de alguna manera permiten dar una idea, proyectándolo a escala más pequeña, del estado de la microcuenca en cuanto al uso de estos fertilizantes químicos.

En todo nuestro país se evidencia de forma clara la preponderancia en los principales cultivos, tanto permanentes como transitorios, de fertilizantes nitrogenados y en segundo término los compuestos NPK que integran nitrógeno, potasio y fósforo. Aquellos fertilizantes que son únicamente fosfatados, únicamente potásicos o incluso compuestos duales como los nitrofosfatados o fosfato potásicos tienen mucha menor incidencia en el uso principalmente en cuanto a los cultivos principales que implican mayores superficies de suelo usadas, esto ha sido evaluado a partir del análisis de estadísticas de la ESPAC del INEC.

Existe de forma evidente también que hay una relación directamente proporcional en cuanto a la extensión de superficie sobre la cual se usa fertilizantes y la cantidad de fertilizante usado, medido en quintales mayormente (la cifra procesada de cantidad de fertilizante toma como referencia de unidad el quintal según la desagregación de la tabla en la base de datos SPSS).

En los cantones que conforman la microcuenca del río Burgay se realizó el análisis de la cantidad de fertilizante por ha. y tipo de cultivo, y se identificó a los agroquímicos nitrogenados como los de mayor incidencia en el territorio, tal como se observa en la tabla 4:

Tabla 4 Uso de fertilizante nitrogenado por hectárea y por tipo de cultivo en la microcuenca del río Burgay

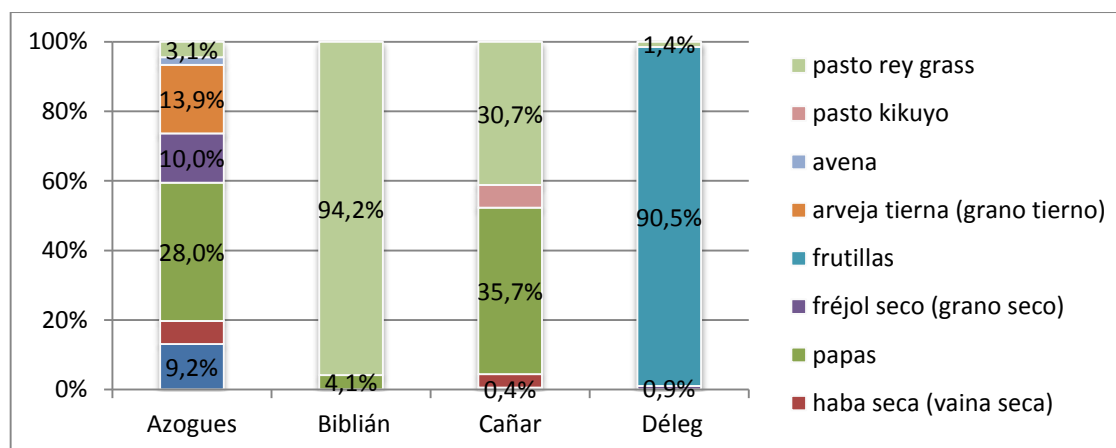
Cultivos	Fertilizante	Azogues		Biblián		Cañar		Déleg	
		Cultivo_cantidad_fertilizante_químico Tm/ha/año	Cultivo_superficie_ha_fertilizante_químico	Cultivo_cantidad_fertilizante_químico Tm/ha/año	Cultivo_superficie_ha_fertilizante_químico	Cultivo_cantidad_fertilizante_químico Tm/ha/año	Cultivo_superficie_ha_fertilizante_químico	Cultivo_cantidad_fertilizante_químico Tm/ha/año	Cultivo_superficie_ha_fertilizante_químico
maíz duro (choclo)						9,00	0,23		
maíz suave (choclo)		11,75	1,50	3,00	2,00			2,00	0,07
maíz suave seco (grano seco)		17,75	3,50			1,00	0,60	2,00	0,07
maíz suave seco (mazorca)				5,50	3,95	4,50	1,23		
haba seca (grano seco)		11,75	1,50			2,00	0,08		
haba seca (vaina seca)		6,00	2,00			13,00	0,46		
haba tierna (vaina)						1,00	0,25		
melloco						40,00	2,90		
col		2,00	1,10						
oca						25,00	0,15		
papas		35,75	2,55	20,00	0,25	162,00	9,74		
fréjol seco (grano seco)		12,75	1,70					2,00	0,07
fréjol seco (vaina seca)		6,00	2,00			5,00	0,48		
arveja seca (vaina seca)						5,00	0,12		
arveja tierna (vaina)						2,00	0,25		
fréjol tierno (vaina)						5,00	2,00		
fréjol tierno (grano tierno)								2,00	0,07

frutillas							2,00	0,20
arveja tierna (grano tierno)	17,75	3,50						
avena	2,00	1,00						
cebada forrajera							2,00	0,24
avena forrajera							8,00	1,23
pasto kikuyo					22,00	7,00		
pasto rey grass	4,00	1,50	463,00	19,50	139,50	8,47	3,00	4,00
Otros pastos cultivados					18,00	6,00		

Fuente: Encuesta Continua de producción agropecuaria ESPAC-INEC 2014

Elaboración propia

Figura 4 Porcentaje de fertilizante nitrogenado utilizado por tipo de cultivo en la microcuenca del río Burgay



Tal como se observa en la Tabla 4, el cultivo que más fertilizante nitrogenado utiliza es la papa, la cual se producen en los cantones Cañar, Azogues, y Biblián. El pasto cultivado Rey grass es el que más fertilizante nitrogenado requiere por ha. y se sitúa en su mayoría en el cantón Biblián. La producción de frutillas en Déleg ocupa en una cantidad alta de fertilizantes químicos para su crecimiento por ha., todos estos factores permiten analizar que la contaminación de los suelos y el agua se debe a la cantidad de fertilizantes químicos que se utilizan por hectárea de cultivo en la microcuenca del río Burgay.

1.3 Marco Legal

Según el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización-COOTAD, en su artículo 263, se establecen las competencias de los Gobiernos provinciales y se menciona su responsabilidad de ejecutar obras en coordinación con el gobierno regional en las cuencas hidrográficas.

Es importante mencionar que el considerar el marco legal que rige y sustenta la utilidad de la presente investigación es necesario para fortalecer los criterios y argumentos en base a

los cuales se ha elaborado el presente estudio. (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2015).

La Ley Orgánica de los Recursos hídricos Usos y Aprovechamientos es la base normativa de esta investigación; de la cual se han considerado en primera instancia los siguientes enunciados: (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2014).

- **Artículo 95.-**La autorización para el aprovechamiento productivo de agua estará subordinada al cumplimiento de las siguientes condiciones:
 - a) Respecto a la prelación de usos y la prioridad de aprovechamientos productivos del agua, en las condiciones de publicidad y competencia determinadas en esta Ley.
 - b) Verificación de la existencia cierta del agua, en calidad y cantidad suficientes, sobre la base de la certificación de disponibilidad. Respecto de la calidad del agua, la Autoridad Única del Agua, implementará los procesos de certificación de manera progresiva.
 - c) Estudios y proyectos de infraestructura hidráulica necesarios para la utilización del agua, que sean aprobados previamente por la Autoridad Única del Agua.
 - d) Que el usuario se responsabilice por la prevención y mitigación de los daños ambientales que ocasionen y se obligue a contribuir al buen manejo del agua autorizada.
 - e) Que la utilización del agua sea inmediata, o en un plazo determinado para el destino al que fue autorizado. (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2014).
- **Artículo 23.-**En base a lo establecido en el Artículo 23 literal c) de la Ley Orgánica de Recursos Hídricos Usos y Aprovechamiento del Agua, sobre recopilar, procesar administrar y gestionar la información hídrica de carácter técnico y administrativo. (Asamblea Nacional de la República del Ecuador, 2014).

La Agencia de Regulación y Control del Agua-ARCA, en el año 2016, aprueba la Regulación Nro. DIR-ARCA-RG-001-2016, la cual se denomina “Medidas de control de actividades que alteran la cantidad y calidad de aguas superficiales y subterráneas, las sanciones correspondientes y las acciones para su remediación en caso de afectación de la misma”, se refiere a los cuerpos hídricos que son de dominio hídrico público y rige a nivel nacional, donde prevalecen los principios de sostenibilidad ambiental.

En este sentido, la vulnerabilidad de la calidad del agua dentro de una microcuenca hidrográfica hace referencia a esta normativa que ya ha sido establecida y se encuentra vigente, cuya aplicación es obligatoria para la administración pública central, los gobiernos autónomos descentralizados y regímenes especiales, personas naturales y jurídicas públicas y privadas, comunidades, nacionalidades y colectivos del Ecuador. (Agencia de Regulación y Control del Agua, 2016).

CAPITULO II

2 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

2.1 Ubicación Geográfica y Superficie del área de estudio

La microcuenca del río Burgay posee una superficie de 448, 38 **km²**. Se encuentra ubicada en la Provincia de Cañar; está conformada por los siguientes cantones: Biblián, Paute, Déleg y Azogues. La ciudad de Azogues es la capital provincial de Cañar y las parroquias que se encuentran dentro del límite de la microcuenca son: Azogues, Guapán, Javier Loyola, Luis Cordero, San Miguel, Cojitambo. Las parroquias del cantón Biblián que pertenecen a la microcuenca son las siguientes: Biblián, Nazón, Sageo, Turupamba, Jerusalén. Las parroquias Déleg y Solano pertenecen al cantón Déleg.

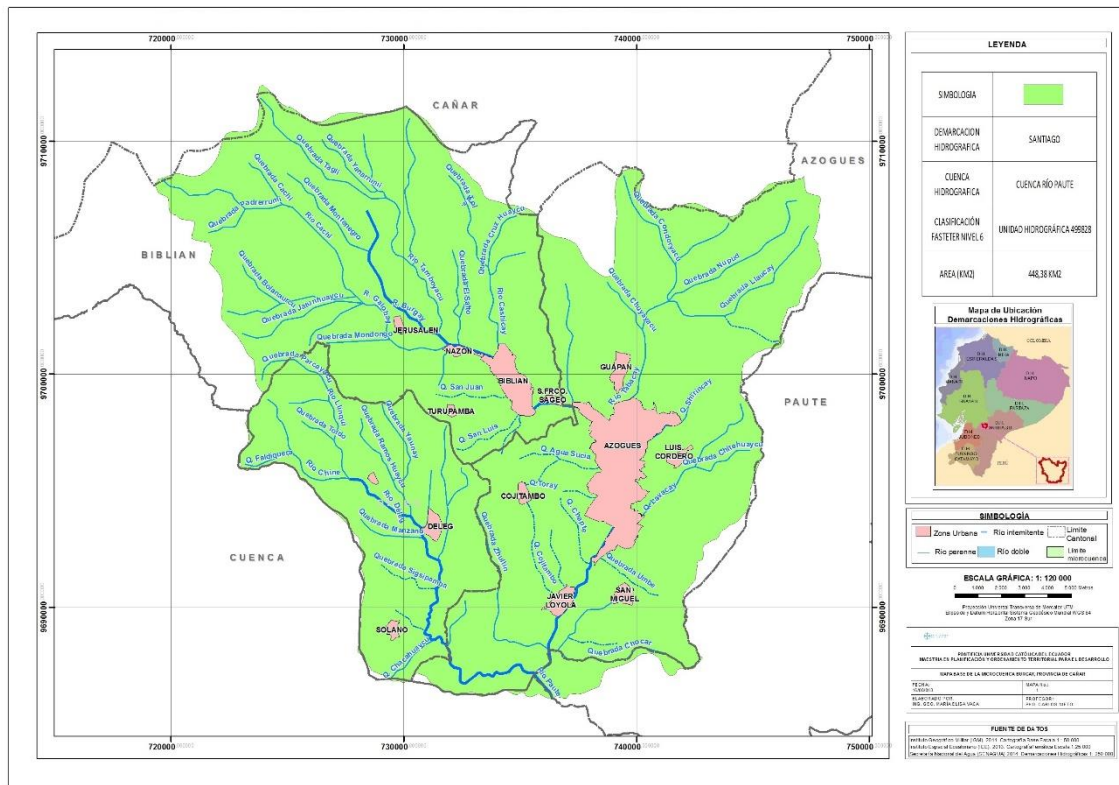
En la división hidrográfica del Ecuador, esta microcuenca pertenece a la Demarcación Hidrográfica de Santiago, cuenca del Río Paute, clasificación Pfafstetter nivel 6, correspondiente a la unidad hidrográfica 499828. El río principal es el Burgay. (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

2.1.1 Localización política administrativa

La microcuenca del río Burgay limita al norte con el cantón Cañar, al sur con el cantón Cuenca, al este con el cantón Paute y al oeste con el cantón Biblián.

La organización de la microcuenca se da de la siguiente manera: la gestión política, administrativa y financiera es regulada por la Administración zonal de la Demarcación hidrográfica Santiago, cuya sede se localiza en la ciudad de Cuenca. La institución pública que norma el funcionamiento de la microcuenca es la Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA). A continuación se observa el mapa 1, con la información base de la microcuenca del río Burgay:

Mapa 1 Mapa Base de la microcuenca del río Burgay



Elaborado por Ing. María Elisa Vaca Boada, año 2018

2.2 Análisis Geofísico de la microcuenca del río Burgay

2.2.1 Geología

Los relieves de esta microcuenca se caracterizan por pertenecer a la cordillera de los Andes, en las zonas más elevadas, se asocian a relieves montañosos, relieves colinados altos, muy altos y coluviones. Los relieves de Vertientes y Relieves Superiores de las Cuencas Interandinas de la Sierra Central, se caracterizan por ser producto de los derramamientos volcánicos tabulares.

2.2.2 Geomorfología

En la microcuenca del río Burgay, se puede encontrar relieves volcánicos montañosos, representando la unidad geomorfológica que cubre en su mayor parte la superficie del área de estudio. Presenta pendientes fuertes (40 a 70%), hasta muy fuerte (70 a 100%). El relieve volcánico colinado muy alto y alto, se localiza en la cuenca alta del río Burgay, la forma de la vertiente es cóncava, convexa o rectilínea, la pendiente va desde media (25 a

40%) hasta muy fuerte (70 a 100%), con desnivel relativo de 200 a 300 metros, y una longitud de la vertiente mayor a 250 metros. (Instituto Espacial Ecuatoriano; Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca; Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2012).

De igual manera, se puede encontrar la unidad geomorfológica de relieve colinado medio, localizado en la cuenca media del área de estudio. Los poblados que se sitúan en esta área son: Biblián, San Francisco de Sageo, Nazón, y Azogues. Las unidades geomorfológicas de origen deposicional o acumulativo, se encuentran representadas por pendientes muy suaves (2-5%). Las terrazas aluviales se ubican principalmente cerca de los ríos: Burgay y Déleg; cerca de los poblados que llevan el mismo nombre. (SIGTIERRAS, 2014).

2.2.3 Clima

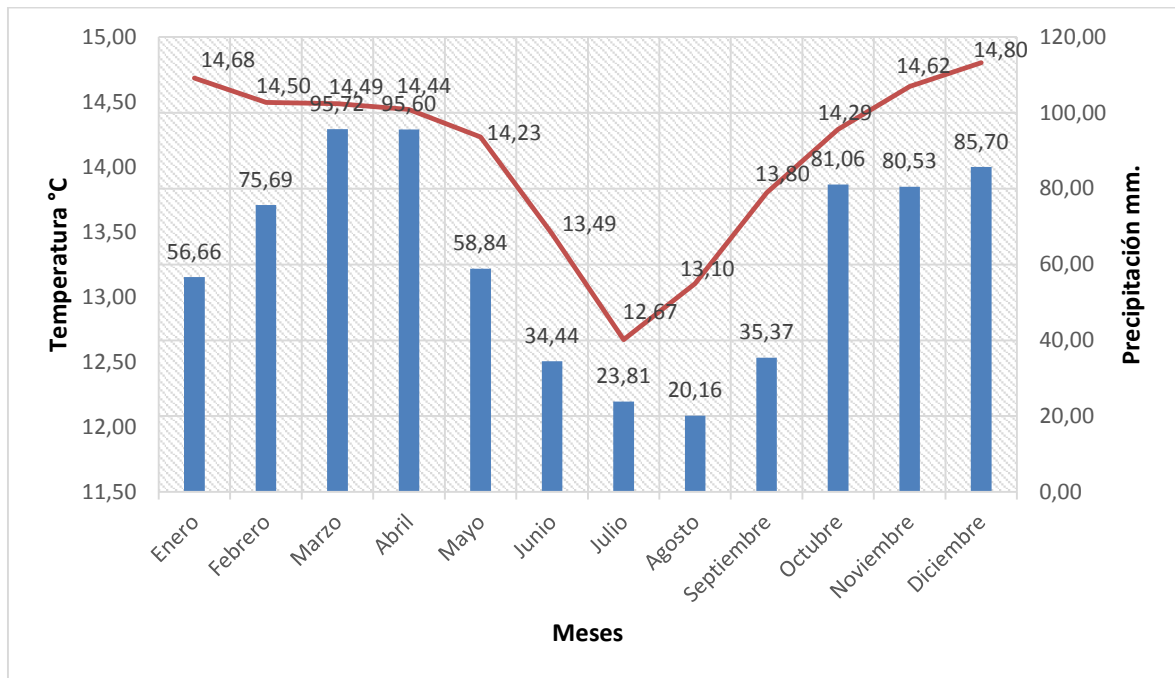
Según la información bioclimática del Ecuador, se determina que en la microcuenca del río Burgay se encuentran los siguientes tipos bioclimáticos: Ecuatorial Mesotérmico Semi-húmedo a húmedo, Ecuatorial Mesotérmico Seco. El clima Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo a húmedo corresponde a la zona alta de la microcuenca, localizada a una altura mayor a 2850 msnm, con una temperatura promedio anual que oscila entre 12°C y 20°C. Cabe resaltar que, en estas zonas las temperaturas mínimas rara vez descienden los 0°C y las máximas no superan los 30°C. Considerando la variación de la altura y de la exposición al sol, la humedad relativa se ubica entre valores que van del 65% al 85%, y la duración de la insolación en promedio puede ir de 1000 a 2000 horas al año. (Pourrut, 1995).

El clima Ecuatorial Mesotérmico semi-húmedo a húmedo, se localiza geográficamente en el callejón interandino; presenta dos estaciones lluviosas, que corresponden a la penetración de masas mayoritariamente de aire amazónico, en los meses de octubre y noviembre, o Pacífico, de enero a mayo. (Pourrut, 1995). En la microcuenca del río Burgay, el terreno es muy variable en altura, por tanto, el clima sufre variaciones en los distintos lugares. Biblián y Nazón, son sitios altos de clima templado, la cabecera provincial, Azogues, es cálida y las zonas que están cercanas a los ríos principales, presentan el clima más cálido.

Esta microcuenca está conformada por una sólida capa vegetativa y húmeda por presencia de vertientes de agua, dependientes de la pluviosidad, sin embargo, debido a un cambio de

clima, las épocas de lluvia y las épocas secas son diferentes a las de años anteriores y es notable que la escases de lluvias actualmente están afectando a las actividades agrícolas de la microcuenca. Para la construcción de un diagrama climático, se han tomado como referencia los datos de INAMHI, de la estación hidrológica Burgay AJ Déleg (H932), y la estación meteorológica de Jacarin (M197).

Figura 5 Diagrama climático de la microcuenca Río Burgay, período 1985-2009



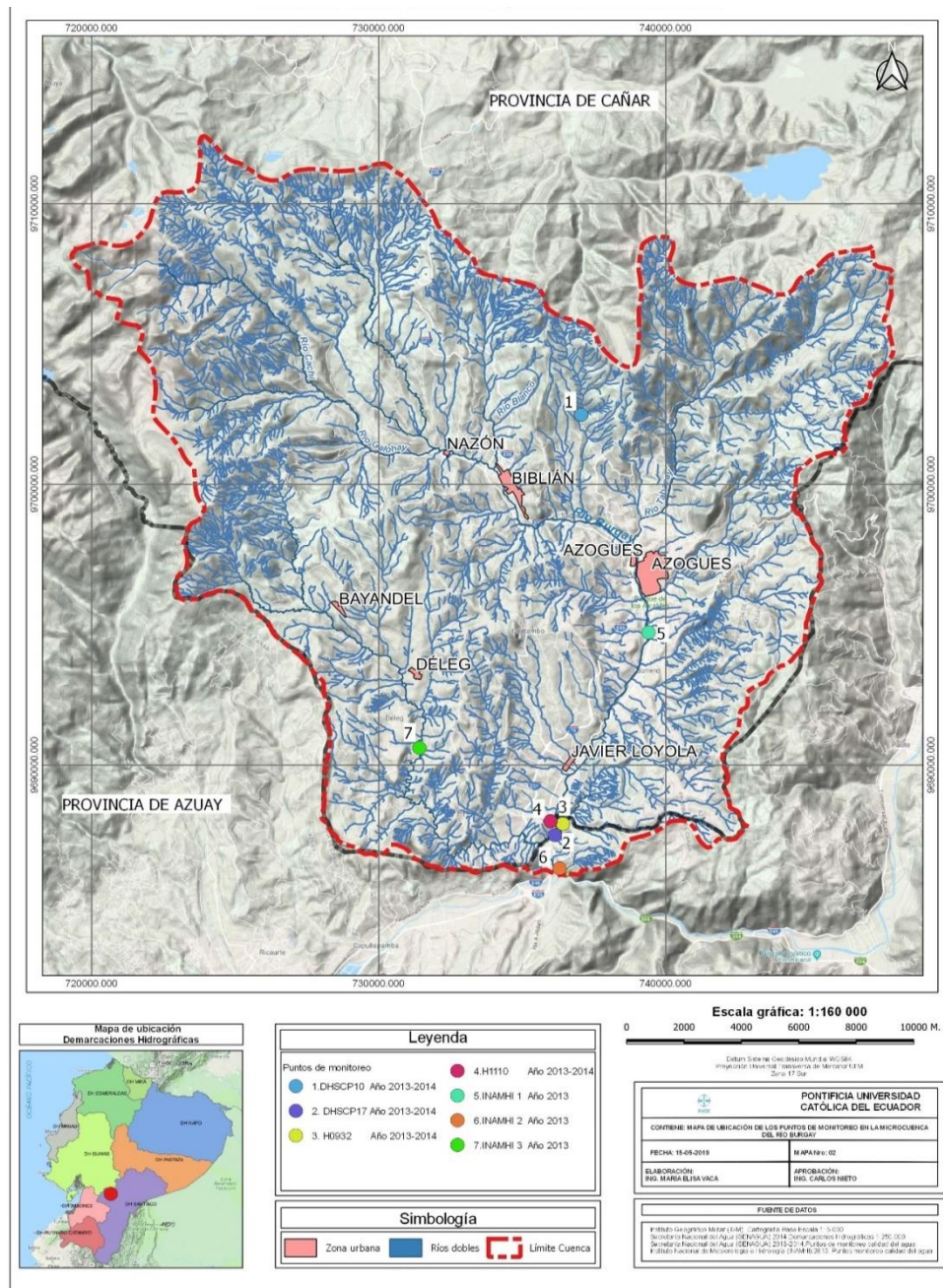
Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2018.
Fuente: (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, 2009)

La Figura 5 representa el análisis climático del área de estudio, la microcuenca del río Burgay, en los cuales se representa los valores promedios de temperatura y precipitación del periodo de los años 1985 al 2009. La temporada de menor temperatura y precipitación corresponden al periodo comprendido desde junio a septiembre, presentando el menor mes de precipitación agosto (20.16) y, el menor mes de temperatura julio (12.67), interpretando este periodo como la época seca. Posterior al mes de septiembre, el mes de octubre, presenta un cambio abrupto en los valores de precipitación y de temperatura, subiendo a 81.06 y 14.29 respectivamente, de aquí presenta un periodo constante hasta el mes de diciembre, disminuyendo un poco los valores en el mes de enero y febrero, para pasar al periodo más alto de precipitación correspondiente al mes de marzo y abril. El periodo de octubre a abril corresponde a la época húmeda, con una transición entre el mes de mayo.

Conociendo las épocas de lluvia y de estiaje, se podrán considerar ciertos factores como caudal, escorrentía, arrastre de material por los cuerpos hídricos, lo cual afecta su calidad en mayor o menor medida, dependiendo de la intensidad del evento.

El mapa 2, muestra la localización de los puntos de monitoreo de calidad del agua en la microcuenca del río Burgay (7 puntos y 12 observaciones respectivamente):

Mapa 2 Mapa de localización de puntos de monitoreo, microcuenca Río Burgay



Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2019

2.2.4 Topografía y suelos

La configuración superficial de la microcuenca del Río Burgay es quebradiza, producida por las cumbres de los cerros que la circundan. En general, el relieve varía de plano a fuertemente ondulado y colinado, con pendientes que oscilan de suavemente inclinada a moderadamente escarpadas, con diversos rangos de variación, en general posee áreas de formas muy irregulares. Sin embargo, se podría mencionar que ciertos sectores se presentan relativamente planos, especialmente en la terraza de nivel alto, localizada en zonas de depósitos aluviales, cercanos a los ríos, en las terrazas fluvio-volcánicas, junto a las corrientes fluviales y en una parte de las terrazas erosionadas, compuestas por sedimentos coluvio-volcánicos. En resumen, la microcuenca del río Burgay presenta todas estas variaciones de relieve y pendientes, las cuales alcanzan formas y grados que van hasta colinado con pendientes fuertes del 35%. (Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales, 2015).

El tipo de suelo que se puede encontrar en la micro cuenca está relacionado a los que están recubiertos con ceniza volcánica. Uno característico es Typic Melanudands, el cual se encuentra dentro del orden de los Andisoles, con un horizonte superficial de color oscuro, con niveles altos de materia orgánica, moderadamente profundo. Se localizan en régimen de temperatura del suelo isomésico, caracterizado por presentar temperatura de 10 a 13°C, entre 50 y 100 cm de profundidad durante todo el año. (Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales, 2015).

En la microcuenca del río Burgay predominan las siguientes clasificaciones taxonómicas de suelos:

- *Orden Alfisoles (Haplustalfs, del Sub-Orden Ustalfs)*

Son suelos de zonas secas templadas a cálidas, con alta saturación en bases; de colores pardos rojizos y rojizos claros, con dominio en su contenido mineralógico de arcillas tipo caolinita y montmorillonítico, por lo que se agrietan cuando secos; de texturas arcillosas, a veces con piedras y escombros; pH neutro. Se distribuyen sobre superficies de sedimentación reciente: planicies y/o ondulaciones del piedemonte occidental o antiguas vertientes andinas del sur. En la microcuenca esta clasificación taxonómica cubre aproximadamente el 8,81% del total de la superficie. (Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales, 2015).

- *Orden Inceptisoles (Eutropepts del Sub-orden Tropepts).*

Son suelos que se encuentran en áreas húmedo-secas, con moderado o alto contenido de bases. Se desarrollan en sedimentos antiguos sobre areniscas, arcillas y conglomerados, o sobre materiales sedimentarios de origen aluvial, o depósitos fluvio-marinos y fluviales, como son arenas, limos, arcillas y canto rodados. Pueden tener un origen volcánico o volcánico-sedimentario sobre arenas, arcillas y conglomerados. Se distribuyen sobre las mesas y colinas costeras de pendiente variables, sobre pendientes suaves de llanuras aluviales, fluviales y/o fluvio-marinas, y también sobre relieves variables de las vertientes sur del callejón andino. Presentan colores pardos amarillentos a pardo rojizos, texturas medias, mediana fertilidad natural, pH ligeramente ácido a neutro. Bajo condiciones de buen drenaje, estos suelos son aptos para la agricultura, así como también para la implantación de pastizales; dentro del territorio de la microcuenca representan aproximadamente el 66,21% de su superficie. (Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales, 2015).

- *Orden: Entisoles (Ustorthents, del Sub-Orden: Orthents).*

Son suelos primarios, formados sobre superficies de erosión reciente. La erosión puede ser de origen geológico, o producto de cultivo intenso, u otros factores que han removido o truncado completamente los horizontes del suelo, dejando expuesto a la superficie material mineral primario grueso (Arena, gravas, piedras, etc.), o material cementado (cangahua). Cuando sostienen vegetación, esta es escasa o efímera. Se encuentran en zonas secas, frías, templadas o cálidas. Se distribuyen sobre relieves accidentados de las vertientes de la cordillera andina, o también sobre relieves de pendientes suaves, cerca de los volcanes. Dentro de esta categoría podemos ubicar la clasificación de eriales o afloramiento rocoso.

- *Orden Mollisoles (Argiudolls, del Sub-Orden Udolls).*

Se caracterizan por ser suelos con un horizonte argílico, bajo un epipedon mollico negro o pardo muy oscuro. De texturas arcillosas o arcillo arenosas, pH ligeramente ácido y buena fertilidad natural, pudiendo encontrarse cangahua a más de un metro de profundidad. Se han desarrollado sobre proyecciones volcánicas de cenizas recientes suaves y permeables, en climas húmedos y templados; su mayor distribución se localiza en las pendientes

variables de las vertientes del centro y norte de las cordilleras andinas. Son suelos muy aptos para la agricultura y ganadería. Ocupan aproximadamente el 9,22% del territorio de la microcuenca.

- *Orden Vertisoles (Pellusterts, del Sub-orden Usterts).*

Son suelos de colores oscuros, negros o grises; arcillosos de difícil laboreo y profundidad variable. Se ubican en superficies sedimentarias, con relieves planos a ondulados; sobre depósitos coluviales detríticos antiguos, en las partes bajas de la región interandina sur; sobre pequeñas colinas y cuencas altas, en donde además se caracterizan por su nivel freático superficial.

Bajo las especificaciones de la Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo (SENPLADES), en la microcuenca del río Burgay, se establecieron cuatro rangos de pendientes: 0 a 12% (Ondulado), 12 a 25% (Inclinado), 25 a 50% (Escarpado) y < 50 % (Muy Escarpado).

- Rangos entre 0 - 12% (Ondulado), se encuentran todos los terrenos agrícolas con posibilidades de mecanización y de realizar diferentes cultivos (maíz, papas, arveja) en los que se puede realizar prácticas agrícolas con bajo riesgo de erosión.
- Rangos entre 12 - 25% (Inclinado), están todos aquellos suelos dedicados a la agricultura en los que el riesgo de erosión es mayor. Para cultivar hay que realizar terrazas de formación lenta, proteger los márgenes de las áreas con siembra de plantas forestales.
- Rangos entre 25 - 50% (Escarpado) están las áreas con alto riesgo de erosión; en éstas se puede realizar agricultura pero con obras de conservación de mayor costo como terrazas de banco. Esta categoría es más recomendable para pastos y protección con forestación.
- >50% (Muy Escarpado), están las zonas netamente dedicadas a la conservación con vegetación nativa y reforestación y no se debe realizar ningún tipo de cultivo.

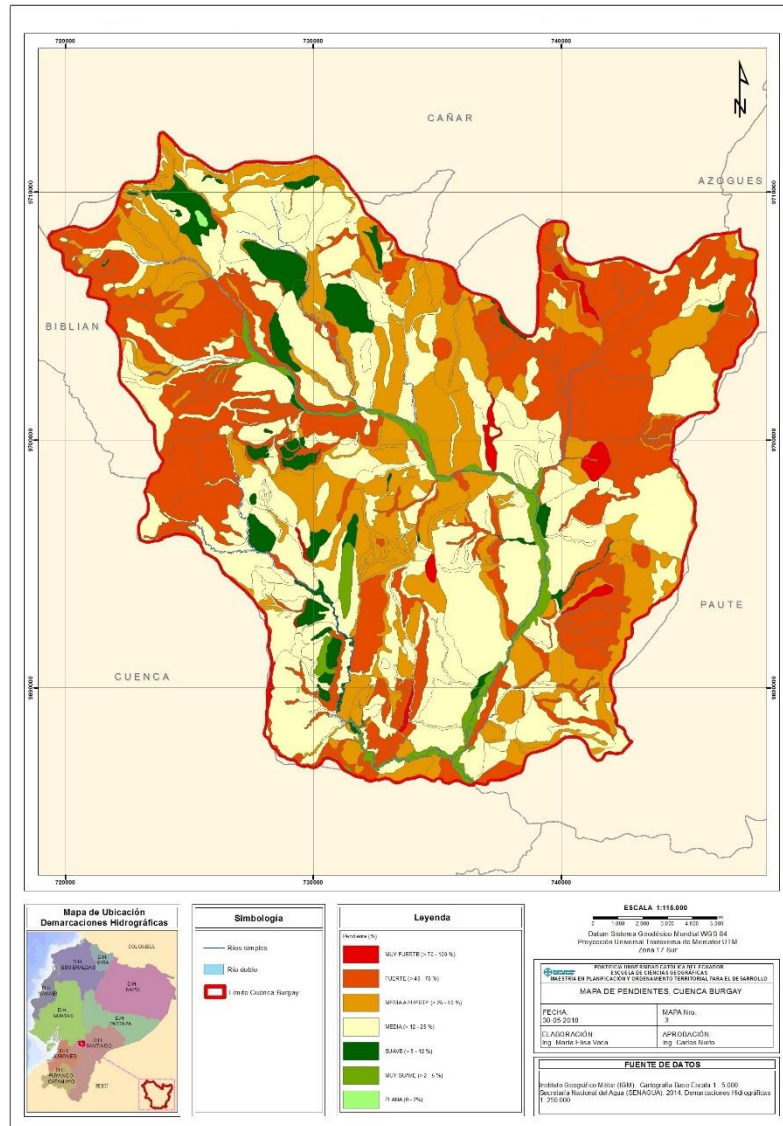
Al ubicarse la mayor parte de la microcuenca, en zonas de alta pendiente, se derivan algunas problemáticas, tales como las construcciones en colinas peligrosas como la del

Zhalao, cabe mencionar los riesgos físicos que se encuentran en el área de estudio, producto de las fallas geológicas que se ubican en este lugar y de la inadecuada planificación que ha llevado a no controlar la construcción de edificaciones en sectores inestables con pendientes mayores al 30%.

En lo que respecta a la Altimetría, considerando que la altitud mínima es de 2560 msnm, en la parroquia Sageo y 4320 msnm. en Nazón. El páramo se localiza desde los 3800 msnm., hasta la altura máxima encontrada en la Microcuenca del río Burgay a 4320 msnm., ocupa el 16,32% del territorio, dentro principalmente de la jurisdicción de las parroquias Nazón y Jerusalén.

Es por esta razón, que es muy importante cuidar el ecosistema páramo, el cual es una fuente natural productora de agua dulce, que alimenta las vertientes del territorio, garantizando abastecer a la microcuenca con cantidad y calidad del agua. Otro factor a considerar, producto de este diagnóstico biofísico es que al conocer que existe un mayor porcentaje de superficie con suelos Inceptisoles, los cuales presentan características favorables para los pastizales y la agricultura, se deben tomar medidas para que estas no sobrepasen la frontera agrícola, y se conserven las zonas de protección de las fuentes hídricas, es decir los páramos, localizados en las zonas altas dentro de la microcuenca del río Burgay. El mapa 3, muestra los rangos de pendientes en el área de estudio:

Mapa 3 Pendientes, microcuenca Río Burgay



Elaborado por Ing. María Elisa Vaca Boada, año 2018.

2.2.5 Hidrografía

El Burgay es el río principal de la microcuenca. Comienza desde lugares altos y atraviesa varias parroquias. Desciende por las estribaciones de la Cordillera de los Andes y finalmente recibe de afluente al río Machangara para formar el río Paute que desemboca en el Amazonas. Es por esta razón que, geográficamente la microcuenca del río Burgay está localizada dentro de la cuenca del Río Paute y pertenece a la subcuenca hidrográfica del Río Zamora. (Secretaría Nacional del Agua, 2009).

Según la información cartográfica disponible a escala 1:25000, la Microcuenca Burgay cuenta con 14 ríos, los cuales son citados en la Tabla 5 con su respectiva extensión.

Tabla 5 Nombre y longitud de los Ríos de la Microcuenca Burgay

Nombre	Longitud (metros)
Río Burgay	8669.33
Río Cachi	15065.32
Río Cashicay	4790.97
Río Curiquina	12.00
Río Galohay	5863.94
Río Guagua Hipis	1535.87
Río Hierba Buena	2406.31
Río Huagrauma	2963.80
Río Jatunhuaycu	88.26
Río Machángara	13221.89
Río Mamallipis	1767.51
Río Piñacocha	8251.53
Río Quinuales	5288.81
Río Tambo	10562.71
Total	80488.32

Fuente: (Municipio del Cantón Biblián, 2014).

La microcuenca del río Burgay se encuentra ubicada hidrográficamente dentro del sistema Santiago Zamora, en la zona alta de la cuenca del río Paute. Aproximadamente el 79% del territorio, pertenece a la microcuenca del río Burgay Alto. El 15% del territorio, pertenecen a la microcuenca del río Burgay Bajo.

Se puede mencionar que, la microcuenca del río Burgay padece un problema ambiental relacionado con el deterioro de la red hidrográfica, cuyo río principal presenta una disminución del caudal y contaminación, lo cual incide directamente en la calidad del agua, el recurso hídrico es utilizado para varios usos, entre los principales: riego y consumo humano.

Otro punto importante en cuanto a la hidrografía en la zona de estudio, son las concesiones de agua. En la microcuenca hidrográfica del río Burgay existen 1286 autorizaciones, y un total de 1981.75 l/s son concesionados para ser utilizados en diferentes tipos de usos y aprovechamientos, tales como: abrevadero, doméstico, industrial y riego. La tabla 6 muestra las concesiones de agua en el área de estudio:

Tabla 6 Concesiones de agua en la microcuenca del río Burgay

CONCESIONES DE AGUA EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BURGAY								
CANTON	PARROQUIA	CAUDA L l/s	TIPO DE USO / APROVECHAMIENTO					
			ABREVADER O	DOMÉSTIC O	INDUSTRIA L	TERMA L	PISCÍCOL A	RIEG O
AZOGUES	1. AZOGUES	0,90	2	2	5	0	0	1
	2. GUAPAN	292,56	33	83	3	44	0	37
	3. JAVIER LOYOLA	184,67	6	31	0	0	0	21
	4. LUIS CORDERO	22,84	26	72	0	6	0	47
	5. SAN MIGUEL	27,90	12	87	0	0	0	25
	6. COJITAMBO	0,02	0	3	0	0	0	0
BIBLIAN	7. BIBLIAN	170,19	35	162	0	0	1	34
	8. NAZON	608,89	18	74	0	0	2	32
	9. S. FRCO. DE SAGEO	2,07	0	5	0	0	0	0
	10. TURUPAMBA	4,49	6	46	0	0	0	2
	11. JERUSALEN	77,03	7	7	0	0	0	7
DELEG	12. DELEG	129,59	8	55	0	0	0	15
	13. SOLANO	73,36	7	23	0	0	0	21
PAUTE	14. PAUTE	387,24	49	59	2	0	0	63
TOTAL		1.981,75	209	709	10	50	3	305

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2018

Fuente: (Secretaría Nacional del Agua , 2017)

2.2.6 Hidrogeología

En la microcuenca del río Burgay, se puede encontrar aguas superficiales donde el agua dulce se encuentra en abundancia, generalmente en los meses de octubre a junio. Existen dos represas en el río Machangara, el Labrador y la Chanlud. En cuanto a las aguas subterráneas, la vegetación y las pronunciadas laderas puede que limiten el acceso a algunas áreas, donde el agua es localmente abundante.

Los acuíferos son aluviales en la formación cuaternaria no diferenciada, y consisten en arenas, areniscas, arcillas y conglomerados. (Municipio del Cantón Biblián, 2014). Estos acuíferos están confinados (formaciones cuando el agua subterránea se encuentra encerrada entre dos capas impermeables y es sometida a una presión distinta a la atmosférica), y no confinados (existe una superficie libre y real del agua encerrada, que está en contacto con el aire y a la presión atmosférica). Debido al potencial hidrológico de alta producción y buena calidad del agua, la exploración de pozos es recomendada.

2.3 Análisis Biofísico

2.3.1 Vegetación natural y uso de la tierra

La vegetación natural, en la cuenca alta tiene relictos de bosques con muy poca intervención, sin embargo, en la cuenca media y baja, la cobertura vegetal natural, en su mayoría ha sido destruida para dar paso a la explotación agrícola y los pastizales, se observan algunas especies como las siguientes: chilca (*Baccharis floribunda*), penco (*Agave americano*), faique (*Acacia macrocantha*), molle (*Shinus molle*), mosquera (*Croton sp*), sig-sig (*Cortaderia nitida*), etc.

En la microcuenca del Río Burgay se identifican las siguientes formaciones ecológicas:

Bosque Húmedo Montano Bajo.- corresponde a la parte más alta de la microcuenca, por encima de los 3000 msnm, con un predominio de precipitación pluvial mayor a 1000 milímetros y una temperatura de 4 a 6°C. La vegetación típica de páramo.

En la actualidad, se ha observado un cambio de uso del suelo, con respecto a la cobertura vegetal natural, hoy en día los suelos están cultivados con maíz, trigo, fréjol, arveja, papas y pastos. Cabe señalar que, debido a la fuerte pendiente y las características irregulares en la topografía de la microcuenca, se ha dificultado la implementación de infraestructura de riego, que favorezcan a las actividades agropecuarias de la zona, debido a que la misma posee fuertes limitaciones. En la cuenca alta se observan plantaciones de pino. (Huttel, Zebrowski, & Gondard, 1999).

- ***Bosque seco Montano- Bajo.***- formaciones ecológicas que se sitúan principalmente en la cuenca media y baja de la micro cuenca. Estas formaciones se sitúan alrededor de los 2000 msnm, la precipitación es de 500 a 1000 milímetros, y la temperatura oscila entre 10 a 12°C. Por encontrarse en un pequeño valle circundado por montes altos, se nota el efecto abrigado y el clima se vuelve más árido. En esta zona, climáticamente las temperaturas son templadas hasta ligeramente cálidas durante el día, a frescas y algo frías en la noche. El uso agrícola está dado por la siembra de fréjol y maíz principalmente.

En algunas áreas con pendientes, se ha establecido la siembra de eucalipto (*Eucaliptus globulus*) y en menor escala ciprés y pinos. (Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales, 2015).

2.3.2 Fauna

En la microcuenca del río Burgay se pueden encontrar animales silvestres, tales como el zorro (*Vulpes vulpes*), murciélago (*Chiroptera*); de igual manera se encuentran aves silvestres, tales como el gorrión (*Passer Domesticus*), carpintero (*Colaptes melanochloros*), lechuza (*Tyto alba*), etc. Los animales introducidos son el caballo (*Equus ferus caballus*), cabra (*Capra aegagrus hircus*), perro (*canis lupus familiaris*), buey (*Ovibos moschatus*), asno (*Equus africanus asinus*), mula, (*Equus ferus caballus*) oveja (*Ovis orientalis aries*), cerdo (*Sus scrofa domestica*), gato (*Felis silvestris catus*), y entre las aves de corral tenemos a la gallina (*Gallus gallus domesticus*), pato (*anas platyrhynchos domesticus*), paloma (*Columba livia*), pavo (*Meleagris gallopavo*), ganso (*Anser anser*). (Municipio del Cantón Biblián, 2014). Ver mapa 4.

2.4 Análisis Socioeconómico

2.4.1 Demografía y situación social

En la microcuenca del Río Burgay hay una población total de 101549 habitantes. La densidad poblacional es mayor en las cabeceras de los cantones que conforman la microcuenca (Azogues, Biblián, Déleg y Paute), lo cual se observa en la Tabla 7:

Tabla 7 Población en la microcuenca del río Burgay, por Cantón, Parroquia y diferenciada por Género

CANTON	PARROQUIA	POBLACION		
		HOMBRE	MUJER	TOTAL
AZOGUES	1. AZOGUES	17.667	20.328	37.995
	2. GUAPAN	3.933	4.920	8.853
	3. JAVIER LOYOLA	3.142	3.665	6.807
	4. LUIS CORDERO	1.690	2.181	3.871
	5. SAN MIGUEL	1.613	1.954	3.567
	6. COJITAMBO	1.594	2.095	3.689
BIBLIAN	7. BIBLIAN	6.106	7.599	13.705
	8. NAZON	1.106	1.459	2.565
	9. SAN FRANCISCO DE SAGEO	765	966	1.731
	10. TURUPAMBA	455	616	1.071
	11. JERUSALEN	761	984	1.745
DELEG	12. DELEG	1.878	2.555	4.433
	13. SOLANO	751	916	1.667
PAUTE	14.PAUTE	4.635	5.215	88.010
		46.096	55.453	101.549

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2018.
Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010)

En la Tabla 8 se puede observar que la mayor parte de la población de la microcuenca Burgay, está en los jóvenes de 13 a 22 años (26%), y en los niños de 1 a 12 años de edad (29 %). Lo cual implica que existe un elevado porcentaje de población económicamente dependiente en la zona de estudio, dificultando su crecimiento económico ya que la población se encuentra en edad escolar.

Tabla 8 Porcentaje de población por grupos de edad en la microcuenca del río Burgay

AÑOS	PORCENTAJES
1 a 12	29 %
13 a 22	26 %
23 a 30	19 %
31 a 60	14 %
61 y más	12 %

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010)

En particular, en la microcuenca existen nacionalidades indígenas, que caracterizan a la población. Se localizan principalmente en el cantón Biblián, en las parroquias Biblián y Jerusalén, en donde se asientan las nacionalidades Kañari y Kichua, presentados en la tabla 9. Mientras que el 91,33% de la población de la microcuenca Burgay se considera mestiza, y apenas el 5,25% de la población se ha auto identificado perteneciente a una nacionalidad indígena. (Municipio del Cantón Biblián, 2014).

Tabla 9 Nacionalidades indígenas en la Microcuenca Burgay

Nacionalidad Indígena	Biblián	Nazón	S.Fco.Sageo	Turupamba	Jerusalén	Origen
Shiwiar	-	1	-	-	-	Pastaza
Achuar	-	-	-	1	-	Morona
Andoa	4	1	-	4	8	Pastaza
Kichwa sierra	30	28	35	-	42	Sierra
Karanki	-	-	-	-	1	Imbabura
Otavaló	9	-	-	-	-	Imbabura
Chibuleo	2	-	-	-	-	Tungurahua
Puruha	63	-	-	-	4	Chimborazo
Kañari	493	21	4	21	139	Cañar
Saraguro	1	-	-	-	2	Loja
Otras	2	2	-	-	1	
Se ignora	109	19	11	9	16	
Total	713	72	50	35	213	
Total general	1083					

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2018.

Fuente: (Municipio del Cantón Biblián, 2014).

Cabe mencionar que, las nacionalidades indígenas y la población campesina de un territorio, conservan las variedades hortícolas tradicionales y las semillas autóctonas, lo cual es una medida de mitigación a nivel global que evita pérdida de la biodiversidad agrícola. Las variedades de especies de semillas endógenas son más resistentes frente al cambio climático y son compatibles con las características biofísicas y geofísicas del entorno, por lo cual no requerirán del uso excesivo de agentes químicos externos (agroquímicos) que permitan su crecimiento, y que puedan contaminar los recursos naturales, agua suelo y aire. (Clements & Hagggar, 2011).

2.4.2 Población económicamente activa y principales actividades productivas

La base económica del área de estudio son las divisas que ingresan por la migración y en un segundo plano está la agricultura. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010). Además, en la microcuenca, los suelos correspondientes al orden Mollisoles (*Argiudolls, del Sub-Orden Udolls*), son fértiles y por lo tanto aptos para la agro-producción, aproximadamente el 9.22% del territorio pertenece a este tipo de suelo; su clima templado hace posible el crecimiento de una diversidad de plantas alimenticias, ornamentales y medicinales, tales como maíz, trigo, cebada, brócoli, hortalizas, habas, papas, fréjol, lenteja, cebolla, manzanilla, toronjil, cedrón, entre otras.

Algunas familias del área de estudio se dedican a los servicios y al comercio, a la construcción de casas, carpintería, y a la labor intelectual. Por otro lado, una buena parte de la población se dedica a la ganadería, producción de leche y quesos del ganado bovino. Sin embargo, es muy importante recalcar que estas fuentes de ingreso no alcanzan para satisfacer todas las necesidades básicas de la población, principalmente alimentación, educación y salud. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010). Estas realidades ponen de manifiesto que existe en la microcuenca muy poca inversión para el cuidado de los recursos naturales, específicamente las fuentes de agua. (Ver tabla 10).

Tabla 10 Principales ramas de actividad de la población de la microcuenca del río Burgay

POBLACIÓN EN LA MICROCUENCA DEL RÍO BURGAY										
CANTON	PARROQUIA	RAMA DE ACTIVIDAD								
		Agricultura y ganadería, silvicultura y pesca %	Industrias manufactureras %	Construcción %	Comercio al por mayor y menor %	Transporte y almacenamiento %	Actividades de alojamiento y servicio de comidas %	Administración pública y defensa %	Enseñanza %	Actividades de la atención de la salud humana %
AZOGUES	1. AZOGUES	9	10	7	18	5	4	10	11	4
	2. GUAPAN	26	25	10	6	4	2	5	5	2
	3. JAVIER LOYOLA	24	16	11	11	5	2	4	4	2
	4. LUIS CORDERO	45	7	12	10	4	3	2	1	1
	5. SAN MIGUEL	28	18	18	7	3	3	2	1	1
	6. COJITAMBO	45	13	9	9	5	2	2	2	2
BIBLIAN	7. BIBLIAN	36	10	7	11	5	2	4	4	2
	8. NAZON	69	7	4	2	3	0	2	1	1
	9. SAN FRANCISCO DE SAGEO	33	13	13	9	5	2	4	4	2
	10. TURUPAMBA	54	13	8	3	2	1	2	2	1
	11. JERUSALEN	78	3	6	3	2	1	2	0	1
DELEG	12. DELEG	57	5	7	6	3	2	3	2	1
	13. SOLANO	44	17	4	11	2	3	4	1	0
PAUTE	14. PAUTE	32	11	8	16	5	4	5	4	2

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2015.
Fuente: INEC, 2010.

La población económicamente activa (PEA), es el principal indicador de la oferta de mano de obra en una sociedad. Con el propósito de mantener las características de las series existentes a nivel nacional que el INEC publica a través del Sistema Integrado de Consultas, se considera a la población económicamente activa a personas de 12 años y más, ya que a partir del año 2007 se incorpora la nueva metodología y cálculo en los indicadores de empleo; y se toma como población de referencia, la edad de 10 años y más. Las personas económicamente activas son todas aquellas que, teniendo edad para trabajar, están en capacidad y disponibilidad para dedicarse a la producción de bienes y servicios económicos en un determinado momento.

Es así que en la tabla 10 podemos observar que el mayor porcentaje de la población se dedica a las actividades agropecuarias, las cuales se concentran en las parroquias Jerusalén,

Nazón, Luis Cordero, Deleg, Cojitambo. Otra rama de actividad relevante es la industria manufacturera en Guapán, San Miguel, Sageo, y Solano, entre los principales.

A continuación se hará una descripción de los principales sectores productivos dentro de la microcuenca del río Burgay:

Sector Primario

El sector primario es identificado por la actividad agrícola, ganadera y silvopastoril; por esta razón es muy importante identificar la cobertura y uso del suelo en la microcuenca, ver la tabla 11 presentada a continuación:

Tabla 11 Cobertura y uso de suelo principal en la Microcuenca Burgay

Uso principal de suelo	Cobertura en Hectáreas %
Cultivos permanentes	8
Cultivos transitorios y barbecho	4
Descanso	6
Pastos cultivados	35
Pastos naturales	20
Páramos	18
Montes y bosques	7
Otros usos	2
Total	100

Fuente: (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010)

En este contexto, dentro del sector primario es importante identificar a las Unidades de Producción Agropecuaria (UPA). Es decir, dentro de la microcuenca en estudio, se toma en cuenta a una extensión de tierra de 500 m² o más, dedicada total o parcialmente a la producción agropecuaria, considerada como unidad económica. La UPA está conformada por uno o varios terrenos dedicados a la producción agropecuaria, los cuales están bajo una gerencia única y comparten los mismos medios de producción como: mano de obra, maquinaria, etc. La gerencia de los terrenos puede ser ejercida por una persona, un hogar, una empresa, una cooperativa o cualquier otra forma de dirección.

Según el (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2013), en la microcuenca del río Burgay, predominan aquellas UPA menores a 1 ha, esto manifiesta una marcada minifundización de la tierra y un limitante a la “intensificación” de la agricultura. Sin embargo, cabe mencionar que la mayor parte del territorio está compuesto por la agricultura familiar campesina, quienes son los promotores de la soberanía alimentaria y del cuidado de las semillas tradicionales autóctonas; este grupo poblacional mediante una adecuada

capacitación y apoyo por parte de las autoridades locales competentes, pueden dedicarse a una producción agrícola sustentable que conserve el entorno y específicamente contribuya a mantener una buena calidad de los recursos hídricos.

Por lo que respecta a los sistemas agro-pecuarios, dado que según los datos de cobertura de la tierra, el 55% están ocupados por pastos cultivados y naturales, estos están destinados principalmente para ganado vacuno. Además, el 55,8% de las UPA en el área de estudio, se destinan para la alimentación del ganado, según la clasificación dada por el censo agropecuario. (Ministerio de Agricultura y Ganadería, 2013). De toda la ganadería, el ganado bovino cumple un papel importante en los sistemas de producción, y la mayoría de las UPA tienen por lo menos una vaca por UPA. Una característica de manejo del ganado bovino a nivel de microcuenca, indica que la especie que predomina es el ganado “criollo” con un 70,9% frente a otras razas.

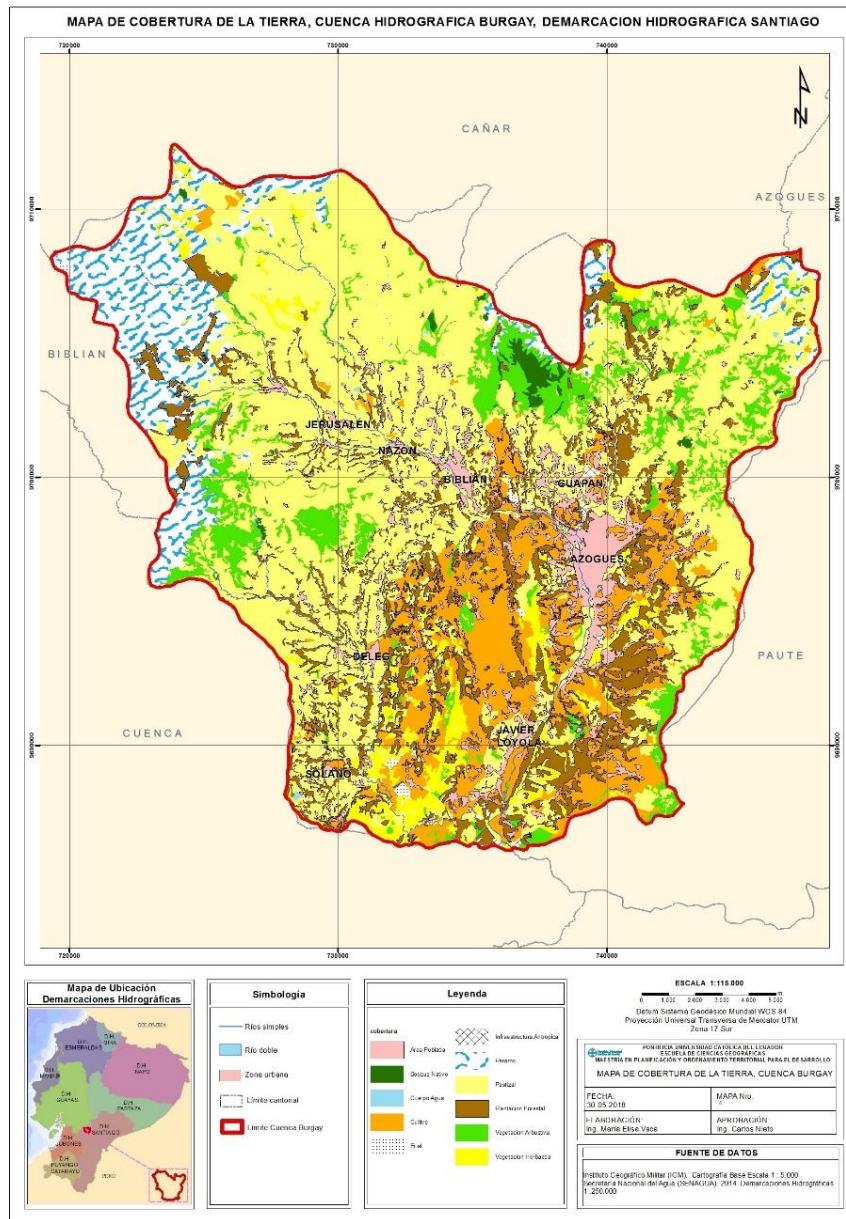
Los factores ambientales del territorio, su relación con la producción agropecuaria y la influencia en la calidad del agua dentro de una microcuenca hidrográfica, son mencionados en el acápite 1.2.4 y 1.2.5, donde se trata como parte del marco teórico de la presente investigación la influencia de las actividades pecuarias sobre la calidad del agua.

Con un enfoque agroecológico, es importante mencionar que se debe conservar la diversidad en los cultivos de la microcuenca hidrográfica en estudio; este tema va alineado a una producción agroecológica dentro del territorio. Las variedades tradicionales autóctonas de cada sitio se adaptan de mejor manera a sus variabilidades biofísicas, su desaparición ocasiona ciertos problemas en las especies agrícolas, tales como: menos resistencia a plagas y enfermedades, menor adaptación ante cambios climáticos y desastres naturales, hambrunas por pérdida masiva de cultivos.

En este sentido, se debe fomentar a que parte de los planes de desarrollo en la zona se enfoquen en ordenar el territorio para que se utilicen zonas con aptitud agrícola para el cultivo de estas semillas autóctonas que van de la mano con la soberanía alimentaria de los pueblos, demandan una cantidad de agua razonable y protegen ríos y quebradas, favoreciendo a la calidad del agua.

La zona de la microcuenca que comprende el cantón Azogues, produce principalmente papas, arveja tierna, fréjol seco, haba seca, pasto rey grass; en la superficie que comprende en cantón Biblián, está ocupada por pasto rey grass y papas. La zona que pertenece a Cañar produce principalmente papas y pasto, y la superficie de Déleg, posee como principal cultivo la frutilla. Cabe mencionar que en la Figura 4, se pueden observar que este tipo de cultivos se encuentran fertilizados con agentes nitrogenados, que afectan la calidad de los suelos y de los recursos hídricos en la microcuenca del río Burgay. Por esta razón sería conveniente se analicen mecanismos para fomentar una producción agrícola sustentable, a través de técnicas agroecológicas. A continuación, el mapa 4 muestra la cobertura de la tierra en la microcuenca del río Burgay:

Mapa 4. Cobertura de la tierra, microcuenca Río Burgay



Elaborado por Ing. María Elisa Vaca Boada, año 2018.

Sector Terciario – Servicios

Las principales actividades productivas de la PEA; en las áreas urbanas dentro de la microcuenca del río Burgay, se basan principalmente en actividades del sector terciario, tal como el comercio y las actividades relacionadas con enseñanza, principalmente en la ciudad de Azogues. En el caso de la electricidad, el agua potable, la telefonía fija, vienen a formar parte de la prestación de los servicios públicos en el territorio. El nivel de cobertura

de luz eléctrica y agua potable en las zonas urbanas dentro de la microcuenca de estudio se acercan al 88%, lo cual es un porcentaje alto. Sin embargo, las comunicaciones apenas alcanzan el 34% de cobertura en toda la zona de estudio. (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos, 2010).

Otras actividades

Las remesas recibidas en la provincia de Cañar durante el año 2010, muestra a la ciudad de Azogues por tener un número de emigrantes considerables como la mayor receptora de este flujo, al beneficiarse con USD 68.1 millones; igualmente, participó de este rubro, Biblián con USD 19.7 millones, que en total representan alrededor del 97.2% del total recibido por la provincia del Cañar.

Además, existen otros sitios que participan en forma marginal del flujo de remesas, como Déleg. (Municipio del Cantón Biblián, 2014).

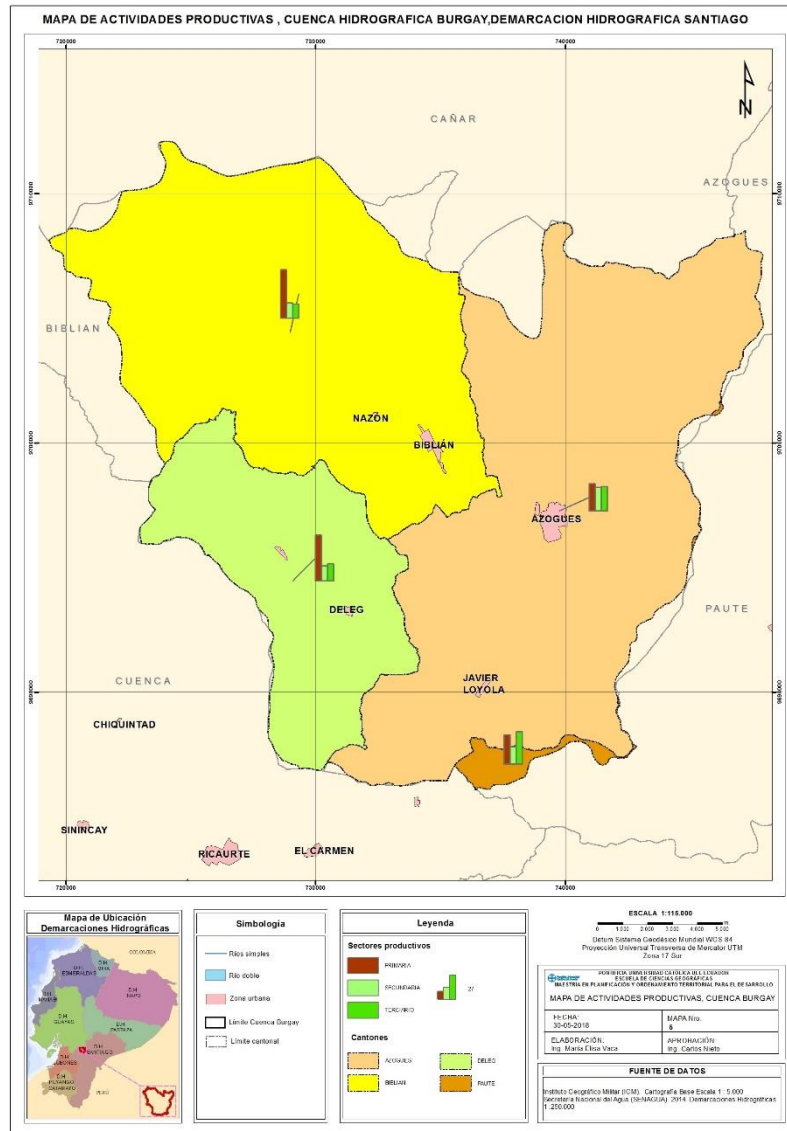
Tabla 12 Monto de Remesas y número de giros recibidos en Burgay según año

AÑO	No. de Giros	Monto de remesas en U.S.D.	(Monto/Giro) promedio
2007	125.254	57.235.900,00	456,96
2008	100.188	29.357.000,00	293,02
2009	72.088	19.484.200,00	270,28
2010	77.894	19.667.500,00	252,49

Fuente: PDOTCB, 2014

Sin embargo, en la tabla 12 se observa que las divisas provenientes de la migración han disminuido considerablemente. Desde el año 2007 al 2010, la microcuenca en estudio deja de percibir por remesas, la cantidad de 37.568.400,00 U.S.D. lo que representa el 65,63%.

Mapa 5. Sectores de la economía en la microcuenca del río Burgay



Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada 2018.

En el Mapa 5, sobre los sectores de la economía en la microcuenca del río Burgay, claramente se ve representado que el sector primario es el que predomina, seguido por el sector de servicios, sin embargo al analizar los problemas del territorio se identificó que existe una deficiente dinámica económica, debido a un escaso número de emprendimientos que puedan generar empleos, a consecuencia de una limitada capacitación en programas de pequeña industria, que promuevan el desarrollo de la población.

2.4.2.1 Nivel de instrucción

La microcuenca del Río Burgay cuenta con la cabecera provincial Azogues, en la cual se concentra el mayor porcentaje de equipamiento educativo, ofertando desde jardín de infantes, hasta los últimos ciclos de bachillerato, en instituciones públicas y algunas pocas privadas. Todos los centros educativos tienen horario matutino y son mixtos, en algunos casos son vespertinos; además cuentan con su propia infraestructura, sin embargo, no poseen todos los elementos necesarios, como implementos de computación, laboratorios bien equipados, etc. (Municipio del Cantón Biblián, 2014).

Las tablas 13 y 14, nos muestran en porcentaje, el nivel de instrucción de la población de la microcuenca del río Burgay, diferenciados por Cantón, parroquia y género, respectivamente:

Tabla 13 Nivel de instrucción de la microcuenca del río Burgay-Hombres (%)

NIVEL DE INSTRUCCIÓN-HOMBRES (%)					
CANTON	PARROQUIA	PRIMARIO	SECUNDARIO	SUPERIOR	POSTGRADO
AZOGUES	1. AZOGUES	14	10	9	1
	2. GUAPAN	15	7	4	0
	3. JAVIER LOYOLA	17	7	4	0
	4. LUIS CORDERO	20	6	2	0
	5. SAN MIGUEL	18	6	2	0
	6. COJITAMBO	20	5	1	-
BIBLIAN	7. BIBLIAN	17	7	4	0
	8. NAZON	19	4	1	0
	9. S FCO SAGEO	16	5	4	0
	10. TURUPAMBA	19	4	2	-
	11. JERUSALEN	20	5	1	0
DELEG	12. DELEG	21	6	2	0
	13. SOLANO	22	5	2	1
PAUTE	14.PAUTE	18	10	4	0

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca, 2018.
Fuente: INEC, 2010.

Tabla 14 Nivel de instrucción de la microcuenca del río Burgay-Mujeres (%)

NIVEL DE INSTRUCCIÓN-MUJERES (%)					
CANTON	PARROQUIA	PRIMARIO	SECUNDARIO	SUPERIOR	POSTGRADO
AZOGUES	1. AZOGUES	17	11	11	1
	2. GUAPAN	21	7	5	0
	3. JAVIER LOYOLA	22	7	5	0
	4. LUIS CORDERO	26	8	2	0
	5. SAN MIGUEL	25	6	2	0
	6. COJITAMBO	27	7	2	0
BIBLIAN	7. BIBLIAN	22	9	5	0
	8. NAZON	24	6	2	0
	9. S FRSCO SAGEO	18	7	5	0
	10. TURUPAMBA	22	6	3	0
	11. JERUSALEN	24	6	1	0
DELEG	12. DELEG	29	7	2	0
	13. SOLANO	27	5	2	1
PAUTE	14. PAUTE	21	11	5	0

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca, 2018.
Fuente: INEC, 2010.

Además, de la instrucción básica y de bachillerato, la microcuenca cuenta con instituciones que permiten a la población cursar estudios de nivel superior, tal como la Universidad Nacional de Educación (UNAE), ubicada en la parroquia Javier Loyola, cantón Azogues, el cual es un centro emblemático de educación superior a nivel Nacional; así también está la Universidad Técnica Particular de Ciencias Ambientales José Peralta, y la Universidad Católica de Cuenca con Sede en Azogues.

En las Tablas 13 y 14, se puede observar el porcentaje de nivel de instrucción de la microcuenca del río Burgay, diferenciado por hombres y mujeres respectivamente, aquí se muestra que un mayor porcentaje del género femenino han culminado estudios secundarios y superiores en las cabeceras cantonales pertenecientes a la zona de estudio. Por ejemplo, en la ciudad de Biblián el 9% de la población femenina terminó el nivel de instrucción secundario; y el 5% el nivel superior. En Azogues este porcentaje aumenta al 11% en nivel de educación secundario y superior. Las parroquias rurales pertenecientes a la microcuenca, muestran un mayor porcentaje en la población que ha culminado sus estudios

primarios, lo cual evidencia que la mano de obra en estas zonas va a ser poco calificada y se destinará a labores del sector primario como la agricultura.

2.4.2.2 Migración

En la microcuenca del río Burgay, el fenómeno migratorio es complejo, se centra principalmente en el territorio correspondiente al cantón Biblián, tal como lo indican los datos de la tabla 15, e influye en los aspectos económico, social, y cultural, además altera la composición familiar. En cuanto al destino de la emigración internacional, EE UU es el país con el mayor porcentaje de destino, seguido de España, estos países son escogidos para residencia y trabajo; países como Chile y Argentina son elegidos para turismo y estudios.

Específicamente, la población de las parroquias del cantón Biblian: Biblian, Nazón, San Francisco de Sageo, Turupamba, y Jerusalén, tiene un alto porcentaje migratorio. La población de Nazón que ha migrado tiene un porcentaje del 16.18%; en San Francisco de Sageo el 4.60%; Turupamba tiene el 7.3%; los habitantes de Jerusalén que han migrado representan el 10.77% del total de la población. En relación al censo del 2010, la población migrante en el Cantón Biblian ha disminuido, existe un total de 1891 migrantes, divididos en 1198 hombres y 693 mujeres, existiendo una disminución del 20%. La población que más migra es la que corresponde al sexo masculino que representa el 64% del total de la población emigrante. (Municipio del Cantón Biblián, 2014).

Tabla 15 Migrantes por año de salida del país y sexo en el cantón Biblián

Año de salida del país	Sexo del migrante		
	1. Hombre	2. Mujer	Total
2001	93	46	139
2002	126	81	207
2003	109	58	167
2004	114	58	172
2005	137	79	216
2006	93	51	144
2007	151	74	225
2008	123	93	216
2009	89	59	148
2010	108	76	184
9999	55	18	73
Total	1,198	693	1,891

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca, 2018.

Fuente: PDOTCB, 2014

En cuanto al sistema socioeconómico y cultural se pueden mencionar algunos conflictos referentes a que la población de la microcuenca en estudio presenta un elevado índice de

pobreza por consumo, según estadísticas revisadas en los Planes de Desarrollo de los cantones que conforman el área de estudio, el Producto interno bruto no aporta con un porcentaje significativo en la provincia ni en la región, estos factores se deben a que el fenómeno migratorio sigue mermando las potencialidades del territorio, al llevarse la fuerza productiva, es decir, la mano de obra.

Cabe mencionar que, las parroquias de Burgay y Nazón tienden al crecimiento principalmente en las cabeceras o áreas urbanas, mientras que en el resto de parroquias rurales la tendencia va hacia el decrecimiento de la población.

Por otro lado, en el tema sociocultural de la microcuenca, se puede observar una problemática relacionada con la ausencia de una educación ambiental oportuna se ha vuelto un problema, reflejada en el árbol de problemas (Figura 6), sobre el Deficiente sistema sociocultural, ya que la población no está motivada a cuidar sus recursos naturales; por lo tanto, se percibe la contaminación ambiental por el manejo inadecuado de desechos sólidos y aguas servidas. Es así que, las autoridades deben preocuparse por crear mayores espacios públicos ya que existe un déficit en equipamiento sociocultural, con pocos espacios de: Recreación, instalaciones deportivas y asistencia social. (Municipio del Cantón Biblián, 2014).

La microcuenca del río Burgay, se encuentra conformada por zonas urbanas que han sido catalogadas como ciudades de paso (Biblián, Azogues), por lo que su economía se ve afectada, y su población tiene un índice de pobreza por necesidades básicas insatisfechas (NBI), en la zona rural del 32% y en la urbana el 8,9%, según el Censo del INEC año 2010. La actividad agrícola es la más relevante en la economía de esta microcuenca, misma que forma parte del sector primario, seguido del sector servicios y una escasa presencia del sector industria.

2.4.3 Sistema de movilidad

En la microcuenca del río Burgay se encuentra la ciudad de Azogues, capital de la provincia del Cañar, y a unos 38 km está la ciudad de Cuenca, es así que el territorio es atravesado por el corredor arterial de la red estatal (E-35), o también denominada la vía Panamericana; la cual es el principal eje articulador del callejón interandino de Norte a Sur desde Tulcán-en la frontera con Colombia – hasta Macará en la frontera con el Perú,

convirtiéndose en la principal arteria de comunicación, entre importantes centros poblados y zonas de producción de la cual forma parte del área de estudio.

En este sentido, por la microcuenca del río Burgay, atraviesa la red estatal permitiendo el enlace vial con su contexto regional y nacional y la interconexión entre las áreas urbana y rural de las diferentes zonas, barrios y sectores de la zona de estudio, por lo tanto, se convierte en un elemento básico para el desarrollo de los asentamientos humanos, producción y comercialización.

La movilidad en la microcuenca del río Burgay, está basada en la red vial estatal, provincial y cantonal; la misma que soporta los flujos de personas, bienes y servicios, y el sistema de transporte con sus componentes móviles, representados en los diferentes medios de transporte y sus equipamientos complementarios. Sin embargo cabe mencionar que el diagnóstico integrado del territorio, en el Anexo 1 sobre el FODA aplicado al área de estudio, establece que una debilidad del territorio es la ausencia de una planificación vial en ciertos sectores, y las vías marginales se encuentran muy próximas al cauce del río Burgay, lo cual incide en su contaminación, ya que la vegetación riparia que lo protegería, es escasa. Además, se evidencia una amenaza en la microcuenca, la cual consiste en el deterioro progresivo del medio ambiente, por la contaminación al río Burgay, por los vertederos y la deforestación.

2.4.3.1 Jerarquización Vial Urbana y Rural

El sistema de Jerarquías viales forma parte del trazado estructural de la red existente, propiciando su funcionamiento adecuado y facilitando la conectividad y accesibilidad entre diferentes partes del territorio.

➤ Red fundamental

- a. **Vías Expresas:** Son vías que conectan los centros de actividad principal en el área urbana y su área de influencia inmediata, sirviendo como corredores con altos volúmenes de tráfico vehicular, principalmente para viajes de larga distancia. Las vías expresas soportan una alta demanda de viajes de entrada y salida del área urbana. Estas permiten altas velocidades y escasas desviaciones para conectarse a vías de jerarquía menor.

b. **Vías Arteriales:** Las vías arteriales se interconectan con las vías expresas para complementar y atender la demanda de viajes de duración moderada con velocidades menores. Las vías de ésta categoría distribuyen el tránsito diario de ida y vuelta con los diferentes centros comerciales, el centro de la ciudad y los barrios locales. Proveen acceso a los asentamientos más próximos a la ciudad.

➤ Red secundaria o local

a. **Vías Colectoras:** Las vías colectoras ingresan a los barrios locales y distribuyen el tránsito de las vías arteriales dentro del área a sus destinos finales. De igual manera, las vías colectoras reciben el tránsito motorizado de las vías locales y lo canalizan a las vías arteriales. En el Centro Histórico las vías forman un patrón de malla y pueden ser definidas como colectoras ya que distribuyen viajes desde las vías arteriales que se encuentran en el límite del área.

b. **Vías Locales:** Las vías locales proveen acceso directo a los predios y se enlazan a las vías colectores. Las velocidades de viaje en estas vías son las menores y generalmente no son utilizadas para la circulación del transporte público, en estas vías es posible el estacionamiento de vehículos, cuando su sección transversal lo permite.

Vías peatonales: Son de uso exclusivo del peatón, permiten el paso de vehículos particulares de residentes del sector, de emergencia, de mantenimiento a baja velocidad y en horarios restringidos.

➤ Categorización Vial Rural

La categorización vial en el área rural clasifica según su grado de importancia y por tipo de rodadura en vías de: Primer Orden, Segundo Orden, Tercer Orden, Cuarto Orden, Caminos y Senderos. Al mencionar la vialidad rural, la microcuenca del río Burgay se encuentra enlazada a la red vial del país a través de la Carretera Panamericana, esta realidad permite que el poblado se vea beneficiado por toda la red interprovincial de transporte público, destacando como líneas principales los recorridos Cuenca - Quito; Cuenca - Guayaquil.

➤ Transporte

Entre las cooperativas encargadas del cumplimiento habitual de tales recorridos encontramos las siguientes:

- Cooperativa de transportes "Express Sucre"
- Cooperativa de transporte "Ejecutivo San Luis"
- Cooperativa de transporte "Flota Imbabura"
- Cooperativa de transporte "Semería"
- Cooperativa de transporte "Patria"
- Cooperativa de transporte "Turismo Oriental"
- Cooperativa de transporte "Santa"
- Cooperativa de transporte "Loja"
- Cooperativa de transporte "Super Taxis Cuenca"
- Cooperativa "Jaguay"

Sin lugar a dudas el transporte intercantonal tiene la mayor frecuencia de uso en la localidad y principalmente en los cantones: Cuenca - Azogues, Biblián - Cañar y Tambo, de tal recorrido se encargan íntegramente las cooperativas de transportes "Cañar" o "Jaguay" intercalándose cada 15 minutos, y parcialmente "Rutas Cañaris" con una frecuencia de 60 minutos entre sus unidades. Estas cooperativas prestan su servicio en horarios matutinos y vespertinos durante la noche, la demanda se satisface a través del transporte interprovincial.

En el transporte interparroquial, cabe mencionar el gran número de comunidades rurales cercanas al centro urbano cantonal, y la necesidad de transporte tanto público como de carga, han llevado a la población principalmente de la zona de estudio a que demande un tipo de transporte ágil, tal circunstancia ha llevado al progresivo florecimiento de Cooperativas de Transporte, fundamentalmente (tipo camionetas), las cuáles se emplazan dentro de las áreas urbanas y son las que se detallan a continuación:

- Cooperativa de transporte "Biblián"
- Cooperativa de transporte "Primero de Septiembre"

- Cooperativa de transporte "José Benigno Iglesias"

En cuanto al sistema de movilidad, se puede mencionar que, el sistema vial requiere de mucha atención por parte de las autoridades competentes, ya que la única vía que cuenta con todas las características óptimas para su uso es la red estatal (E-35), y las alternas que conectan las parroquias rurales con las urbanas, requieren de mucha atención, cabe indicar que si existe vías en buen estado contribuiría al desarrollo económico del área de estudio

CAPITULO III

3 METODOLOGÍA

En la presente investigación se utilizaron diferentes métodos para realizar el diagnóstico de la microcuenca hidrográfica en estudio y, la vulnerabilidad de la calidad del agua por las actividades agropecuarias en el territorio. La metodología parte desde un análisis territorial basado en la identificación de las actividades agropecuarias de la zona, pasa por el análisis de afectación de las mismas en las características del entorno y llega hasta un tratamiento estadístico de datos de puntos de monitoreo con parámetros específicos de la calidad del agua, para arribar a una sistematización del diagnóstico del índice que refleja en varios parámetros la calidad del agua y un modelo de regresión inferístico.

A continuación se detallará la metodología empleada en la presente investigación:

3.1 Metodología de diagnóstico integrado

El proceso desarrollado permitió realizar un análisis integral de la microcuenca del río Burgay y, se consideraron diferentes componentes que son necesarios para planificar adecuadamente el territorio, para ello, se tomó en cuenta la división política administrativa y se realizó un diagnóstico por sistemas, estos son: sistema biofísico; sistema socioeconómico; sistema de movilidad; sistema de infraestructura; sistema de asentamientos humanos. (González, 2015). Con la ayuda de esta metodología de diagnóstico integrado se elaboró un análisis FODA, que ayuda a una mejor comprensión del territorio, y el Árbol de problemas, identificando la problemática de cada sistema.

3.2 Método FODA

El análisis FODA es una herramienta que al aplicarla en la presente investigación permite visibilizar en un contexto general algunas de las características fundamentales de los sistemas que componen la microcuenca del Río Burgay. De esta manera se identificaron las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas del área en estudio. (González, 2015). Cabe mencionar que la fuente de información principalmente fue el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de cada uno de los Cantones que conforman la microcuenca del río Burgay.

Tabla 16 Matriz FODA en la microcuenca del río Burgay

MATRIZ FODA MICROCUENCA DEL RÍO BURGAY		
FACTORES INTERNOS	LISTA DE FORTALEZAS	LISTA DE DEBILIDADES
	FACTORES EXTERNOS	F1. La microcuenca posee un fuerte potencial turístico, debido a la presencia de varias vertientes	D1. Contaminación ambiental por el inadecuado manejo de desechos sólidos, y aguas servidas, que son arrojadas al río D2. Limitaciones topográficas y geológicas para la planificación y dotación de infraestructura de riego D3. Desorganización y dispersión de juntas y concesiones de agua
	F2. Existencia de fuentes de captación de agua	D4. Ausencia de planificación vial en ciertos sectores de la microcuenca; las vías marginales se encuentran muy próximas al cauce del río Burgay
LISTA DE OPORTUNIDADES	FO (Maxi-Maxi)	DO (Mini-Maxi)
O1. Según los PDOT que componen la microcuenca, se percibe la existencia de un plan de manejo ambiental de residuos sólidos, lo cual favorece a que no se depositen desechos directamente en los ríos	1. Promover el turismo sustentable en la microcuenca del río Burgay. (O1, F1,) 2. Fomentar el uso adecuado del recurso hídrico en actividades productivas de la microcuenca. (O3, , F2, F5)	1. Fomentar el manejo y tratamiento de los desechos, para preservar el medio físico natural y la protección de las quebradas. (O1, D1) 2. Mediante el Plan de Ordenamiento Territorial, normar y controlar el uso y ocupación del suelo, respetando áreas no urbanizables por limitaciones topográficas, geotécnicas y de preservación, así como asignar reservas de suelo para equipamiento urbano y rural, lo cual favorece a la creación de zonas de conservación y protección, que cuidan las fuentes hídricas (O2, D4.) 3. Fomentar la organización de las juntas de agua. (O3, D3)
O2. Concientización sobre la necesidad de un Plan de manejo integral del recurso agua		
O3. La gran cantidad de fuentes de captación de agua que favorezcan al desarrollo de las actividades productivas de la microcuenca, de manera sustentable		
O4. Disminución de las actividades del sector primario por la emigración de la población		
LISTA DE AMENAZAS	FA (Maxi-Mini)	DA (Mini-Mini)
A1. Deterioro progresivo del medio ambiente por contaminación del río Burgay, vertederos y deforestación	1. Formular programas de reactivación de la producción agropecuaria, manufactura, turismo y cuidado del medio ambiente, pensando en la preservación de los recursos hídricos. (A3, F1)) 2. Aplicación de leyes y regulaciones existentes en el país para el correcto uso del suelo, y cuidado del agua. (A1, A2, A3, F2))	1. Ejecutar los proyectos de intervención en el río Burgay, relacionado a sistema recolector general de aguas servidas, reforestación, vías cercanas al cauce del río. (A3, D1, D4) 2. Elaboración de la normativa, en base a esquemas de ordenamiento y planes de manejo ambiental, enfocado a la preservación de los recursos hídricos. (A1, A3, D2, D4) 3. Fomentar la cultura organizacional y generar acuerdos interinstitucionales para dar un uso adecuado a los recursos naturales (agua) y antrópicos de la microcuenca. (A1, A3, D3)
A2. Afectación a la cantidad y la calidad del agua por actividades relacionadas con la deforestación para en su lugar colocar cultivos o pasturas en zonas altas de la microcuenca donde nacen las fuentes de agua.		
A3. Crecimiento desordenado y sin planificación de las ciudades dentro de la microcuenca, donde no se prevee un tratamiento de aguas residuales previamente a la descarga		

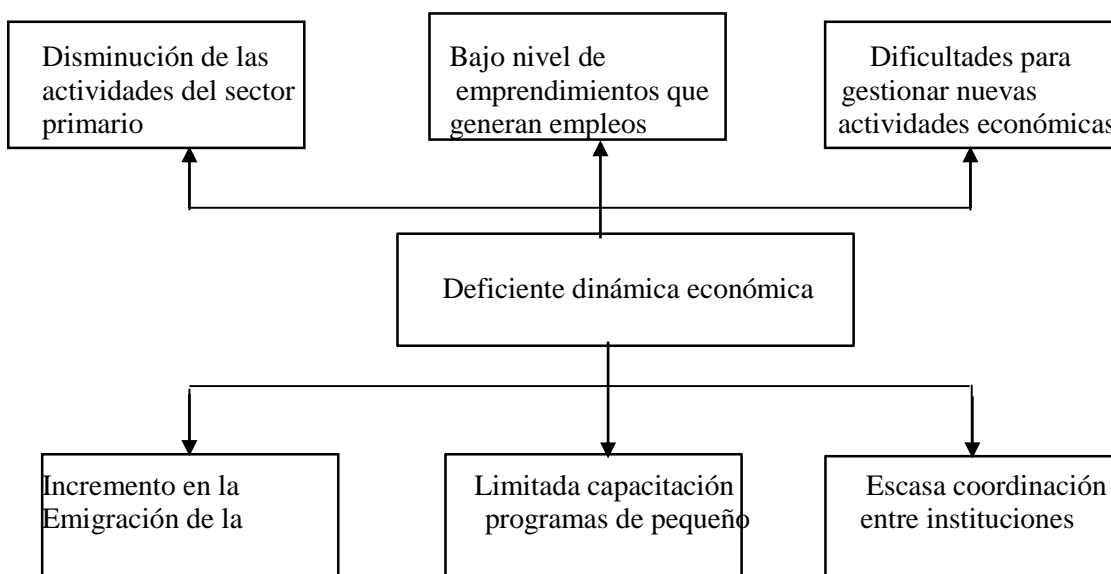
3.3 Método Árbol de Problemas

El árbol de problemas elaborado, presenta diferentes niveles de problemáticas causales y derivadas, que inciden en una más precisa. De esta identificación inicial fueron consideradas aquellas variables, que alcanzan influencia significativa y un nivel descriptivo alto en relación a la problemática central. El diagnóstico integrado de la microcuenca me permitió realizar un árbol de problemas por cada sistema (asentamientos humanos, económico, ambiental, movilidad), de esta manera se busca caracterizar de la mejor forma a la microcuenca hidrográfica del río Burgay. (González, 2015).

Es así que, se identificaron las siguientes problemáticas: deficiente dinámica económica de la microcuenca, en la figura 6; gestión ambiental deficiente, vías en mal estado, riesgos físicos ambientales en la microcuenca. Cabe mencionar que, en el sistema ambiental se identifica el problema central que son los riesgos físicos y ambientales, una de sus principales causas es el desecamiento y contaminación del río Burgay y, la consecuencia directa, es el inadecuado manejo de desechos sólidos.

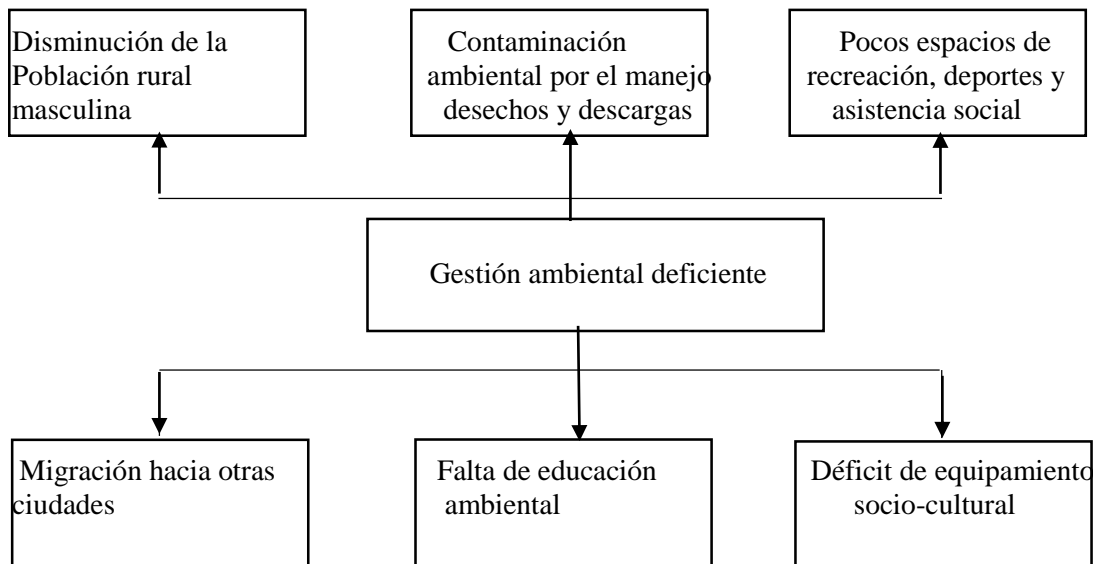
Dentro del área de estudio, se puede relacionar los resultados al aplicar el cálculo del ICA y la contaminación producida debido a las actividades antrópicas que se desenvuelven en el territorio.

Figura 6 Árbol de problemas 1-Dinámica económica deficiente en la microcuenca del río Burgay



Tal como se muestra en el árbol de problemas referente a la Deficiente dinámica económica de la microcuenca del río Burgay, se encuentra el bajo nivel de emprendimientos que generen empleo, la disminución de las actividades del sector primario y las dificultades encontradas para gestionar nuevas actividades económicas que permitan el desarrollo del territorio de manera integral. Es así que, la población se verá menos motivada al cuidado de su medio ambiente y por ende, de los recursos hídricos, ya que la capacitación en el empleo de buenas prácticas agropecuarias, que disminuyan la contaminación de los recursos naturales, se verá afectada y frenada debido a una dinámica económica restringida, esta agravada con la escasa coordinación entre las instituciones públicas que tienen injerencia sobre la zona de estudio.

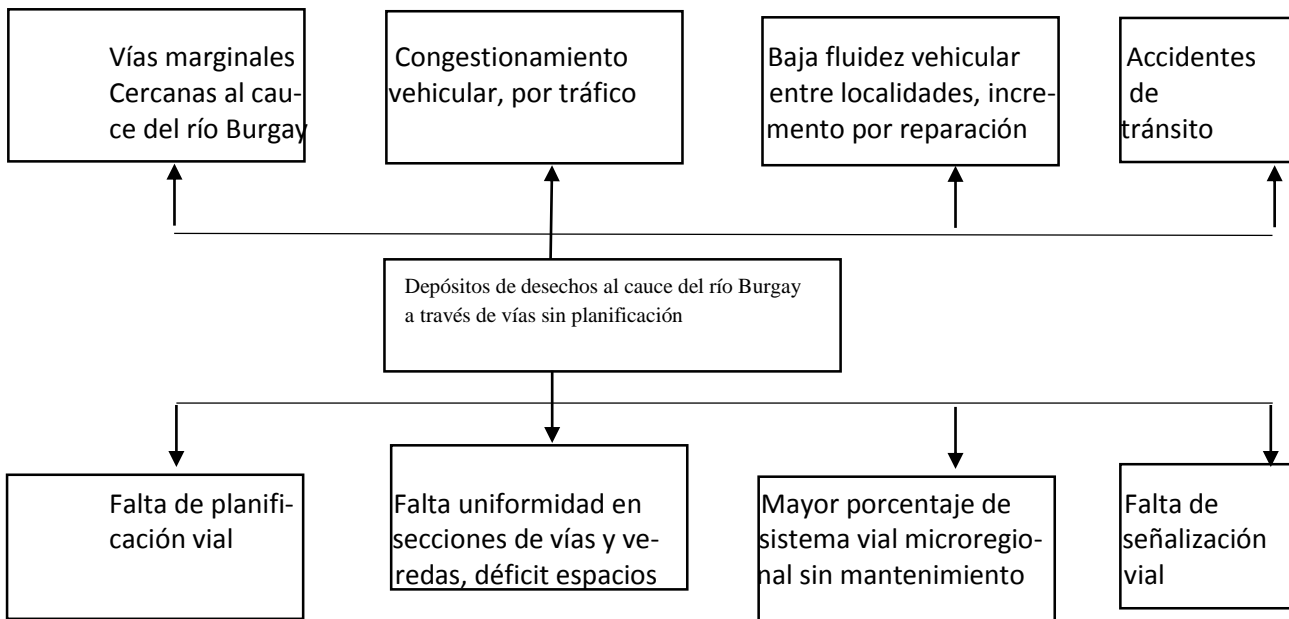
Figura 7 Árbol de problemas 2-Gestión ambiental deficiente



Fuente: PDOT Biblián, Azogues, Cañar, Deleg. 2015
Elaboración propia

El problema de la gestión ambiental deficiente de la microcuenca del río Burgay, correspondiente a la figura 7, por el manejo inadecuado de los desechos sólidos y las aguas servidas, llegan a los ríos, esto será grave, ya que una falta de interés por gestionar campañas de concientización ambiental y cuidado de los recursos naturales, lo que será un impedimento en la población, para que se capacite y pueda cuidar de mejor manera el agua, que es un recurso vital.

Figura 8 Árbol de problemas 3- Depósitos de desechos al cauce del río Burgay a través de vías sin planificación

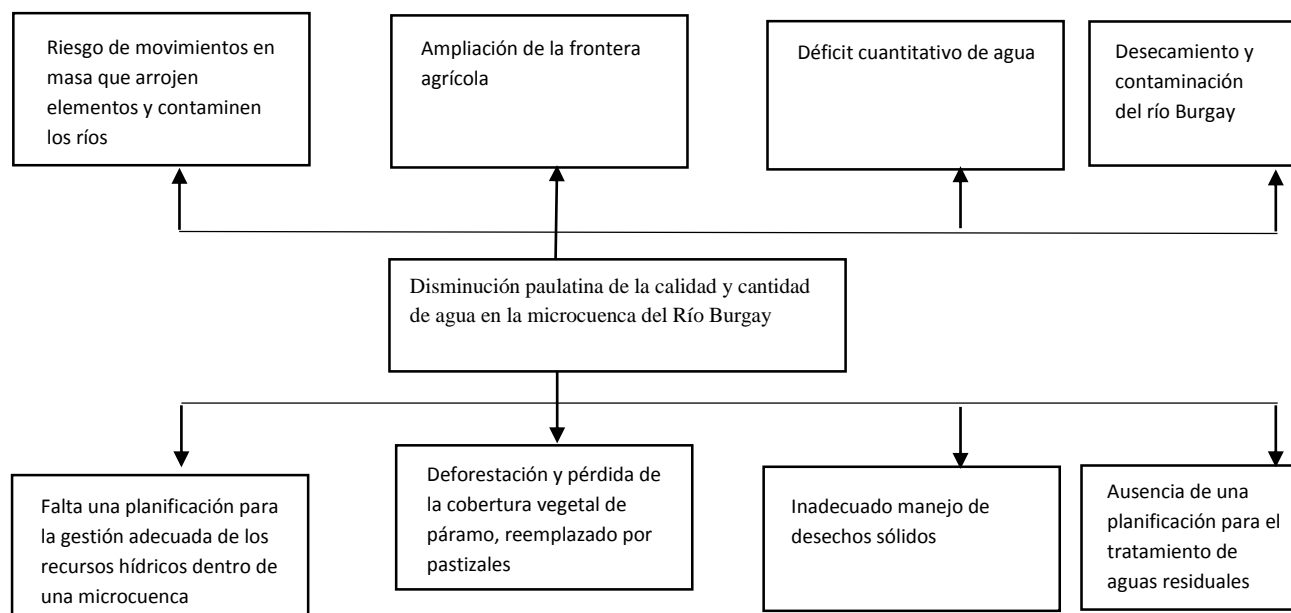


Fuente: PDOT Biblián, Azogues, Cañar, Deleg, 2015

Elaboración propia

La falta de planificación para la construcción de las vías, tal como lo muestra la figura 8, trae como consecuencia un problema generalizado en la microcuenca del río Burgay. En lo que se refiere a la afectación de los recursos hídricos de la zona, se evidencia que se han construido las vías marginales muy cercanas al cauce del río Burgay, lo que implica que se vulnere la calidad de su agua con depósitos, sedimentos, productos del tráfico frecuente por este lugar, ya que no posee una zona de amortiguamiento del río con cobertura vegetal natural, que permita cuidar y mantener en mejores condiciones el afluente más importante de la microcuenca en estudio.

Figura 9 Árbol de problemas 4- Disminución paulatina de la calidad y cantidad de agua en la microcuenca del río Burgay



Fuente:PDOT Biblián, Azogues, Cañar, Deleg, 2015
Elaboración propia

La disminución paulatina de la calidad y cantidad de agua en la microcuenca del río Burgay, representados en la figura 9, se derivan de procesos geomorfológicos, y movimientos en masa tales como los deslizamientos y derrumbes, que ponen en riesgo a la población y aumentan la vulnerabilidad del territorio a la contaminación de sus recursos naturales, el agua principalmente, debido a la incorporación de elementos y agentes externos que van a desembocar en el cauce de los ríos, provocando el desecamiento y la alteración en la calidad del agua, la ampliación de la frontera agrícola y la pérdida de la cobertura vegetal natural afectan al agua en su calidad y cantidad, ya que ecosistemas como el páramo al verse deteriorado por efectos antrópicos, tendrá cada vez menos capacidad de retención del líquido vital.

3.4 Construcción de un Índice de calidad del agua aplicado a la microcuenca del Río Burgay

La construcción de un Índice de Calidad del Agua, ICA, permite disminuir los costos de los análisis de laboratorio, para monitoreo de los parámetros estipulados sobre calidad del agua en la normativa ambiental ecuatoriana vigente.

En este contexto, el cálculo del ICA aplicado a la presente investigación, permite determinar los parámetros mínimos que deben controlarse para analizar los cuerpos

hídricos loticos superficiales, que han sido afectados por las actividades agroproductivas. Además, el análisis propuesto identificará patrones de correlación e influencia entre características relativas al entorno (suelo, cobertura, pendiente, etc.) y los niveles de calidad del recurso, para en base a ello caracterizar un modelo inferístico, y prever la posible afectación de la cuenca hidrográfica, en sus niveles de calidad de agua. Los principales pasos a seguir para el cálculo del índice de calidad del agua son los siguientes:

- a) Identificación de fuentes de información
- b) Procesamiento estadístico y depuración de los datos
- c) Generación de una Base de análisis para el cálculo del ICA
- d) Selección de parámetros para la construcción del ICA
- e) Ponderación de pesos asignados a cada uno de los parámetros para el cálculo del ICA
- f) Normalización de los parámetros seleccionados
- g) Cálculo del índice de calidad del agua

a) Identificación de Fuentes de información

La presente investigación sobre la generación de un índice de calidad del agua y el modelo de inferencia, parten de la identificación, organización y consolidación de la información existente, la cual ha sido tomada de los registros de la Secretaría Nacional del Agua-SENAGUA, a nivel Nacional.

Otras fuentes de información además de la SENAGUA, fueron: Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI, Instituto Espacial Ecuatoriano-IEE, Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica -SIGTIERRAS e Instituto Geográfico Militar-IGM; sin embargo, como fuente principal, se utilizó la información de los puntos de monitoreo de calidad del agua a nivel nacional del *Proyecto de Control y Gestión de la Calidad del Agua*; de la SENAGUA y que fueron levantados en las campañas realizadas en los años 2013, 2014 y 2015. Este proyecto proporcionó la información secundaria de calidad del agua, que ha sido procesada para el cálculo del ICA. A manera informativa, cabe mencionar que este proyecto se basó en una red nacional de monitoreo, diseño y desarrollo de procesos y metodologías para la toma de muestras y determinación de calidad del agua, también implicó la capacitación al personal técnico y la

comunidad, entre otros aspectos, todos estos temas están dentro del Plan Nacional del Agua, elaborado por la mencionada Secretaría. Cabe mencionar que cuando SENAGUA inició este proyecto, monitoreó el recurso hídrico en general, sin embargo lo realizó sin la debida planificación para el establecimiento de los puntos de monitoreo de calidad del agua, se desconoce los criterios de selección de los sitios de muestreo, los cuales fueron escogidos de manera aleatoria, de igual manera, debido a la escasez de presupuesto el número de campañas de monitoreo al año fue reducido y sin continuidad. Estos aspectos se identificaron una vez que se estructuró la información para la presente investigación, lo cual se lo puede mencionar para que en algún momento dicha institución si decide retomar el proyecto de monitoreo de calidad del agua lo haga solventando estos déficits encontrados y mejore la planificación para la toma de puntos de control.

Cabe mencionar que muestras de calidad del agua demuestran que el agua superficial en la microcuenca no es apta para riego agrícola, ni consumo humano, al comparar los resultados de los monitoreos con los criterios de calidad del agua del Anexo 1 del Acuerdo Ministerial 097, lo que se corrobora con el presente estudio de investigación y el cálculo de un Índice de calidad del agua. (Ministerio del Ambiente, 2015).

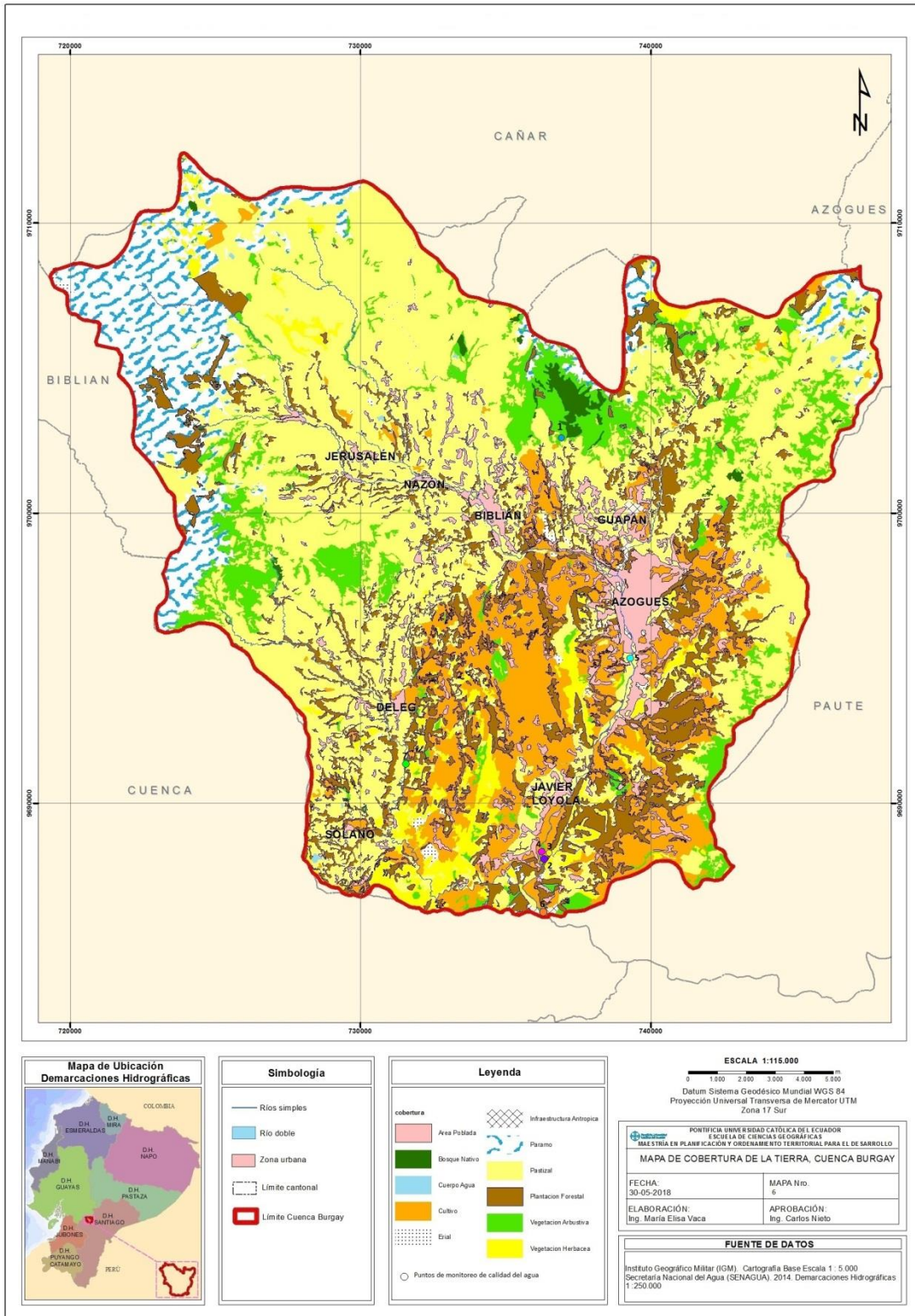
Del INAMHI, se obtuvo la información de las estaciones hidrométricas y puntos de monitoreo de calidad del agua. Del IEE, se obtuvo la cartografía base y temática (suelos, geomorfología, clima, cobertura, uso del suelo, sistemas de producción agropecuarios) a escala 1:25000, al igual que las memorias técnicas con las metodologías empleadas para este tipo de análisis territorial. Del SIGTIERRAS, se obtuvo el catastro rural, Ortofotos y cartografía temática a escala 1:25.000 a nivel nacional. Del IGM, es la institución rectora encargada de generar la cartografía base a nivel nacional, modelos digitales de terreno, a diferentes escalas (1:1 000 000, 1:250 000, 1:50 000, 1: 5 000).

Dentro de la microcuenca del río Burgay se han identificado dos estaciones hidrológicas monitoreadas por INAMHI, y de igual manera, se han analizado un total de 12 observaciones de monitoreo de calidad del agua localizados a lo largo del río principal, cuya información también fue proporcionada por SENAGUA.

Cada uno de estos puntos de muestreo representa unidades individuales de análisis, contando con 7 puntos de monitoreo, los cuales han sido tomados en la misma localización

geográfica, durante dos veces en el año, una toma en época de lluvia, y otra en época seca, presentando un total de 12 observaciones, provenientes de algunos puntos que cuentan con dos campañas de monitoreo en el año, cuya particularidad es que ofrecen una mayor heterogeneidad entre los datos de cada variable, lo cual facilita conocer la condición que presenta la microcuenca en su totalidad, de esta forma, se logra una mayor robustez y confiabilidad durante el desarrollo de la metodología. Cabe mencionar que estos puntos de monitoreo han sido georeferenciados debidamente para facilitar su localización dentro del área de estudio. Tal como se observa en el mapa 6.

Mapa 6 Ubicación de los puntos de monitoreo de calidad del agua, asentamientos humanos y actividades agropecuarias



El levantamiento de la información base realizado por SENAGUA, por cada punto de control es considerablemente amplio y abarcador, cabe mencionar que se tomaron muestras simples y puntuales, en términos de cobertura territorial, sin embargo carece de metodología estadística adecuada en función de establecer cuotas de muestreo pertinentes, secuencialidad temporal, consideraciones de distribución de localización geográfica vs concentración de actividades de impacto humano, entre otros aspectos que dificultan el procesamiento de resultados estadísticamente ordenados y representativos o completamente consistentes. El número de campañas de monitoreo dentro de la microcuenca en estudio, varía para cada año, es así que para el 2013 se ejecutó una sola campaña, para el año 2014 se tuvieron dos campañas, y en el año 2015 no se realizaron campañas de monitoreo en toda la Demarcación hidrográfica de Santiago, en la cual se ubica el área de estudio. Los meses para la toma de muestras fueron abril y septiembre (época de lluvia y estiaje respectivamente). Los datos de INAMHI presentan una sola campaña de monitoreo en el año 2013, en época de lluvia correspondiente al mes de abril.

Para reducir el riesgo en la utilización de los datos especialmente para el cálculo de un índice compuesto de calidad del agua se depuro la base estadística inicial en base a la eliminación de valores extremos, ajuste de valores que superan los niveles de desviación típica de más del 50% respecto de la media, se contrastó incidencia de actividades antropogénicas de distorsión en la toma con el Banco Nacional de Autorizaciones de la Senagua, se revisó la correlación de puntos en función de aquellos ubicados en coordenadas cercanas para establecer tendencias territoriales y validar el valor.

La serie de falencias identificadas en la toma de datos también fue corregida de forma implícita integrando el cálculo de índices de tipo exponencial, cuadrático (raíz) y modificado (geométrico) en la obtención del índice compuesto ICA que finalmente se expone, el detalle de dicha construcción algebraica se expone en el capítulo metodológico de esta investigación, mismo que tuvo e fin justamente de reducir la injerencia de distorsiones en el dato en favor de una distribución normal como supuesto principal, dicho supuesto también es un elemento fundamental para el proceso de validación complementaria que es la construcción de un modelo inferístico, el cual utiliza una relación lineal de distribución normal multivariable, y se basa en la utilización de parámetros biofísicos y geofísicos escalares que reflejan condiciones que a su vez ayudan a ajustar el

tema de la estacionalidad. Cabe detallar que la finalidad fundamental es ejemplificar los elementos metodológicos y por lo tanto habrá que interpretar los resultados con el debido enfoque y consideración ya señalada.

b) Procesamiento estadístico y depuración de los datos

Se realizó estadísticos descriptivos de medidas de dispersión (desviación estándar, extremos e intervalos, error estándar) para identificar valores distorsionadores o extremos, y medidas de tendencia central, para caracterización de variables.

Una vez obtenida la información de las diferentes fuentes es fundamental realizar un proceso de ordenamiento, sistematización y depuración de los datos validando cuestiones como consistencia histórica del dato, analizando la línea de tiempo en función de posibles saltos significativos, de igual manera es necesario unificar las unidades en las cuales el dato está representado para un mismo parámetro y variables, determinar la forma como a través de interpolaciones, extrapolaciones, aparejamientos u otras técnicas, se puede ayudar a completar datos faltantes en apartados vacíos. Se estima que aproximadamente se realizaron este tipo de procedimientos a un total de 350 registros de una base inicial de 1178 datos de puntos a nivel nacional, de los cuales al menos 200 fueron eliminados por haberse identificado injerencia de elementos de distorsión en el registro o toma del dato, y el resto de los registros ajustados en esta base inicial adoptaron valores más cercanos a los de estadísticos de tendencia central, así alrededor de un 30% de la información de arranque fue intervenida. Cabe destacar que esa base inicial fue luego depurada para la utilización de la base focalizada en la cuenca del río Burgay únicamente.

Esta depuración se complementó con una revisión de las características que están atadas a la identificación de valores discordantes, extremos, etc., el análisis estadístico se realizó con la determinación de los causales detrás del dato, y la decisión sobre el ajuste, eliminación, depuración del dato fue tomada sobre dicha ponderación. Este procesamiento estadístico dentro de la microcuenca en estudio, fue necesario aplicarlo en aproximadamente el 20% de los datos. Ver figura 10.

Figura 10 Datos originales parámetros ICA. Depuración de los datos con revisión de características atadas a la identificación de valores discordantes. Ejemplo Coliformes Fecales

	NO.	AÑO	CÓDIGO_DI	X	Y	DEMARCA	CUENCA	Coliformes	pH	Demanda
3										
4	1	2014	DHSCP10	737058	9702473	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	30		
5	2	2013	DHSCP10	737058	9702473	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	30		
6	3	2013	DHSCP17	736140	9687505	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	46000		
7	4	2014	DHSCP17	736140	9687505	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	110000	7,80	
8	5	2013	H0932	736414	9687902	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	30	7,62	
9	6	2014	H0932	736414	9687902	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	30	7,82	
10	7	2014	H0932	736414	9687902	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	30	8,04	
11	8	2013	H1110	735982	9687995	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	200	7,6	
12	9	2014	H1110	735982	9687995	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	400000		
13	10	2013	INAMHI 1	739398	9694723	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	9200		
14	11	2013	INAMHI 2	736298	9686317	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	460		
15	12	2013	INAMHI 3	731418	9690606	DH SANTIAGO	Cuenca Rio Burgay	490	8,25	

Para la consolidación de los datos de calidad del agua, provenientes de los puntos de monitoreo y que han sido previamente procesados y depurados, se generó una base de datos organizada y estructurada, que servirá para el cálculo del Índice de Calidad del Agua. (Ver tabla 17).

c) Generación de una Base de análisis para l cálculo del Índice de Calidad del Agua

Tabla 17 Base de análisis de los Puntos de monitoreo de calidad del agua en la microcuenca del río Burgay

No.	AÑO	CÓDIGO	X	Y	D.H.	CUENCA	Coliformes fecales NMP/100ml	pH	DBO mg/l	Nitratos mg/l	Turbiedad NTU	Sólidos_d mg/l	Fosfatos mg/l	Temperatura ambiente °C	Oxígeno disuelto mg/l	Amonio NH4 (mg/l)
1	2014	DHSCP10	737058	9702473	Santiago	Cuenca Rio Burgay	30	8,00	1,00	0,22	4	48	0,200	14,00	100	0,009
2	2013	DHSCP10	737058	9702473	Santiago	Cuenca Rio Burgay	30	7,90	1,00	0,28	97	35	0,200	14	101,2	54
3	2013	DHSCP17	736140	9687505	Santiago	Cuenca Rio Burgay	46000	8,08	4,00	9,8	486	351	0,200	14	98,3	157
4	2014	DHSCP17	736140	9687505	Santiago	Cuenca Rio Burgay	110000	7,80	4,00	3,5	103	170	0,200	14	6,48	0,65
5	2013	H0932	736414	9687902	Santiago	Cuenca Rio Burgay	30	7,62	1,00	0,75	79,80	4,9	0,270	18,2	54,6	0,75
6	2014	H0932	736414	9687902	Santiago	Cuenca Rio Burgay	30	7,82	1,00	1,33	158,00	5,1	0,720	20,3	100	1,33
7	2014	H0932	736414	9687902	Santiago	Cuenca Rio Burgay	30	8,04	1,00	0,45	138,00	5,2	0,200	13,0	100	0,45
8	2013	H1110	735982	9687995	Santiago	Cuenca Rio Burgay	200	7,60	7,35	0,59	63,40	180,0	0,5	16,4	89,2	0,59
9	2014	H1110	735982	9687995	Santiago	Cuenca Rio Burgay	400000	7,81	10,32	0,27	219,40	88,0	0,019	19,3	80,9	0,27
10	2013	INAMHI 1	739398	9694723	Santiago	Cuenca Rio Burgay	9200	8,03	7,5	0,62	15,2	243,9837	0,274	13,7	103,9	0,62
11	2013	INAMHI 2	736298	9686317	Santiago	Cuenca Rio Burgay	460	8,06	9,5	0,897	19,9	298,914	0,136	17	132,5	0,62
12	2013	INAMHI 3	731418	9690606	Santiago	Cuenca Rio Burgay	490	8,25	5	0,2	24,1	159,162	0,343	18,8	135,9	0,27

Elaboración propia
Fuente: (SENAGUA, 2015)

De igual manera, se ha generado una base de datos georeferenciada, o también denominada geodatabase, con la información de los puntos de monitoreo de calidad del agua de la microcuenca del río Burgay. Los campos de la geodatabase se encuentran en la tabla 18:

Tabla 18 Estructura de la Geodatabase de parámetros del ICA, en la microcuenca del río Burgay

CAMPO	DESCRIPCIÓN	TIPO	TAMAÑO DE CAMPO	EJEMPLO DE CAMPO
No.	Numeración punto de monitoreo	double**		10
AÑO	Año de muestreo de los puntos de monitoreo	double		2013
CÓDIGO	Identificación del punto de monitoreo, según la institución que lo generó	double		DHSCP10
X	Coordenada geográfica	double		737058
Y	Coordenada geográfica	double		9702473
D.H.	Nombre de la Demarcación Hidrográfica	text	25	Santiago
CUENCA	Nombre de la Unidad hidrográfica	text	25	Cuenca Río Burgay
Coliformes fecales NMP/100ml	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		46000
pH	Parámetro de calidad del agua monitoreado	double		7,900
DBO mg/l	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		4,000
Nitratos mg/l	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		1,330
Turbiedad NTU	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		486
Sólidos_d mg/l	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		351
Fosfatos mg/l	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		0,270
Temperatura ambiente °C	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		18,200
Oxígeno disuelto mg/l	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		54,600
Amonio NH4 (mg/l)	Parámetro de calidad del agua monitoreado, expresado en la unidad de medida correspondiente	double		1,330
ICA_PROMEDIO	Se realiza el ICA promedio, resultante del cálculo de los 6 diferentes tipos de ICA	double		64,526
ICA_RESULTADO	Categoría de calidad del agua, correspondiente al valor que arroja el ICA promedio	text	25	Regular

Elaboración propia

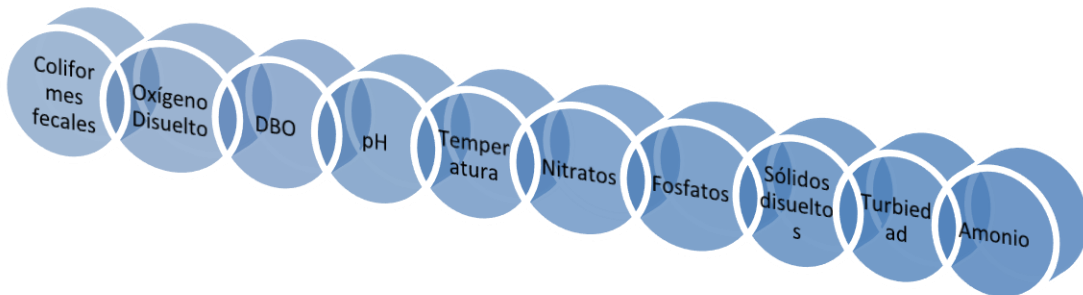
*double, es el tipo de campo de la base de datos, que debido a su configuración permite el ingreso de número enteros y decimales

**text, es el tipo de campo de la base de datos, que debido a su configuración permite el ingreso de letras y números

d) Selección de parámetros para la construcción de un índice de calidad del agua

Para la selección de los parámetros que se utilizaron para la construcción del ICA, fue necesario realizar una profunda y abierta revisión bibliográfica de metodologías, criterios técnicos y parámetros de evaluación de la calidad del agua (Ver figura 11), enfocándose en normativas nacionales, Acuerdo 0097 A, y los casos presentados en Chile, Costa Rica, El Salvador, España, por ejemplo. Este procedimiento ha contribuido a seleccionar de manera apropiada los parámetros obligatorios de tipo físico, químico y biológico en torno a los cuales se realizó el cálculo del ICA (Ver Tabla 19). (Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, 2003). Estos son los siguientes:

Figura 11 Parámetros físico-químicos utilizados en el cálculo del ICA



Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca, 2018.
Fuente: (Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, 2003).

Tabla 19 Unidades de medida parámetros físico-químicos utilizados para el cálculo del ICA

No.	Parámetros físico químicos/ biológicos	Símbolo	Unidad de medida	Símbolo Unidad de medida	Criterio de calidad Acuerdo Ministerial 0097, límites máximos permitidos	Criterio de calidad Externo, límites máximos permitidos	Fuente
1	Coliformes fecales		Número más probable	<i>NMP/100ml</i>	1000 NMP/100 ML	/	Acuerdo Ministerial 0097 A, Ministerio del Ambiente, 2015
2	Oxígeno Disuelto	O.D.	Miligramos por litro	mg/l	/	80% saturación	Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de la Gobernación de Chile, 2003.
3	Demanda Bioquímica de Oxígeno	DBO	Miligramos por litro	mg/l	<2 mg/l (5 días)	/	Acuerdo Ministerial 0097 A, Ministerio del Ambiente, 2015
4	Potencial Hidrógeno	pH	Un idades de pH	<i>Unidades de pH</i>	6-9 unidades de ph	/	Acuerdo Ministerial 0097 A, Ministerio del Ambiente, 2015
5	Temperatura ambiente	T	Grados Centígrados	°C	/	<28°c (considerar regiones naturales en Ecuador)	Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de la Gobernación de Chile, 2003.
6	Nitratos	NO3	Miligramos por litro	mg/l	50 mg/l	/	Acuerdo Ministerial 0097 A, Ministerio del Ambiente, 2015
7	Fosfatos	PO4	Miligramos por litro	mg/l	/	<0,01Miligramos por litro mg/	Registros de monitoreo s de calidad del agua 2013, 2014 y, 2015, SENAGUA.
8	Sólidos disueltos	SD	Miligramos por litro	mg/l	/	>1 Miligramos por litro mg/	Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de la Gobernación de Chile, 2003.
9	Turbiedad	-	Unidades Nefelométricas de Turbidez	<i>NTU</i>	50-100 NTU	/	Acuerdo Ministerial 0097 A, Ministerio del Ambiente, 2015
10	Amonio	NH4	Miligramos Por litro	<i>mg/l</i>	/	/	Dirección General de Aguas del Ministerio de Obras Públicas de la Gobernación de Chile, 2003.

Elaboración propia

e) Ponderación de pesos asignados a cada uno de los parámetros para el cálculo del ICA

En una primera propuesta se realizó el cálculo del ICA sin el parámetro de la temperatura, lo cual llevó a distribuir el valor de este parámetro dentro de cada uno de los restantes de esta manera (ver tabla 20), de la siguiente manera:

Tabla 20 Pesos otorgados a cada parámetro sin la presencia de la temperatura

PARAMETROS	Wi sin temperatura
	0,0089
Coliformes fecales	0,1389
pH	0,1089
DBO	0,0889
Nitratos	0,1389
Turbiedad	0,0889
Solidos Disueltos	0,0889
Fosfatos	0,0789
Temperatura	0,0000
Oxígeno disuelto	0,1389
Amonio	0,1289
	1,0000

Elaboración propia

Se realizó la normalización mediante la aplicación de las fórmulas correspondientes a cada parámetro físico químico. A cada uno de los parámetros se les añadió los pesos según la fórmula establecida, tal como se observa en la tabla 21:

Tabla 21 Pesos asignados a cada parámetro del ICA incluyendo la temperatura

PARAMETROS	Wi
Coliformes fecales	0,1300
pH	0,1000
DBO	0,0800
Nitratos	0,1300
Turbiedad	0,0800
Solidos Disueltos	0,0800
Fosfatos	0,0700
Temperatura	0,0800
Oxígeno disuelto	0,1300
Amonio	0,1200
	1,0000

f) Normalización de los parámetros analizados para el cálculo del ICA

El objeto como tal de la normalización es adaptar los datos levantados de cada uno de los parámetros a una misma unidad comparable e integrable entre todos ellos, y así construir un índice compuesto, estas normalizaciones integran en su gran mayoría elementos de factores constantes ya determinados en procesos empíricos, los mismos que se consideran en algoritmos matemáticos que también tienen valores por defecto como límites permisibles por ejemplo.

Con la información obtenida, de las campañas de monitoreo de calidad del agua, realizada por SENAGUA durante los años 2013, 2014 y 2015, se realizó un procedimiento estadístico, para en primera instancia depurar y organizar los datos, en función de construir una estructura base, de la cual luego se procede a esquematizar un complejo libro de cálculos atado a fórmulas basadas en los diferentes parámetros de normalización que parten de la bibliografía escogida en mayor medida. En este sentido, para la normalización de los parámetros de calidad del agua considerados en la presente metodología, se siguieron estos pasos:

1. Se establecieron los valores correspondientes a los límites máximos permisibles para los diferentes intervalos en algunos de los parámetros, dichos límites o intervalos fueron adaptados de acuerdo a lo que se encuentra establecido en el Acuerdo 097, del Ministerio del Ambiente, como una norma referencial para analizar los niveles de calidad del agua en el Ecuador. Cabe mencionar, que en algunos parámetros como la temperatura, también se han modificado los valores de los intervalos propuestos en la bibliografía, en función de integrar en el análisis consideraciones particulares a la realidad del territorio ecuatoriano. (Ministerio del Ambiente, 2015).

2. Algunos de los criterios que sirvieron para generar el proceso de normalización de los parámetros, fueron obtenidos de estudios como los de la Universidad de Palermo (Cattaneo & Sardi, 2013); para la construcción del ICA se consideró la Metodología Brown, tomada de Journal of Applied Sciences No.7 (Nasirian, 2013), y la Universidad de San José de Costa Rica, presenta un estudio relacionado al tema⁵.

⁵ Calvo, J. 2013. Modelo de predicción de la calidad del agua en ríos basado en índices e indicadores del recurso hídrico y el entorno socio ambiental. Universidad Estatal a Distancia. San José, Costa Rica

3. Así, las fórmulas utilizadas y parámetros establecidos para realizar las normalizaciones en el caso del uso del agua destinado para riego, se detalla de la siguiente forma, desde la tabla 10 hasta la tabla 20:

a. Coliformes fecales:

La fórmula de normalización recomendada por (Calvo, 2013) y aplicada en la investigación fue: $CFn = a + bx + cx^2$

Donde:

- CFn = Coliformes fecales en el agua muestreada normalizada
- x = valor tabulado, es decir el valor de coliformes tomado en los puntos de monitoreo
- a,b,c son constantes, cuyos valores son recomendados (Calvo, 2013).

Los detalles del procedimiento de normalización se explican en la Tabla 22:

Tabla 22 Normalización parámetro coliformes fecales

Elemento	Condición	Decisión
Si x	<1000	Se aplicaría la fórmula
Si x	≥1000	El valor estandarizado de x es cero
Valores constantes		
	A	96,42218
	B	-0,0195
	C	0,00000098

Elaboración propia
Fuente: (Calvo, 2013).

b. Potencial Hidrógeno pH:

Se utilizaron fórmulas previamente establecidas y que se han adaptado a la realidad del estudio. (Calvo, 2013): $pH = 2,628 * (e^{(-0,5200 * x)})$

Donde:

- $pH = pH$ en el agua muestreada normalizado
- 2,628= es constante, cuyo valor fue recomendado (Calvo, 2013).
- 0,5200= es constante, cuyo valor fue recomendado (Calvo, 2013).
- $e = es\ constante$, cuyo valor fue recomendado (Calvo, 2013).
- $x =$ valor tabulado, es decir el valor de pH tomado en los puntos de monitoreo

Los detalles del procedimiento de normalización se explican en la Tabla 23:

Tabla 23 Normalización parámetro pH

Elemento	Condición	Decisión
Si x	>9	El valor normalizado es 10
Si x	<6	El valor normalizado es 10
Constante (e)	2,718281828	
Valores entre:		Fórmula
6	7	$2,628 * (e^{(-0,5200 * x)})$
7	8	100
8	9	$100 * (e^{(-0,51880 * (x-8))})$

Elaboración propia
Fuente: (Calvo, 2013)

c. Demanda Bioquímica de Oxígeno DBO;

La fórmula de normalización recomendada por (Calvo, 2013) y aplicada en la investigación fue: $DBO_n = 1 / (a + bx^c)$

Donde:

- $DBO_n =$ Demanda bioquímica de oxígeno en el agua muestreada normalizada
- a,b,c son constantes, cuyos valores son recomendados (Calvo, 2013).
- $x =$ valor tabulado, es decir el valor de DBO tomado en los puntos de monitoreo

Los valores de las constantes del procedimiento de normalización se muestran en la Tabla 24:

Tabla 24 Normalización parámetro DBO

Valores de constantes	
a	0,010027
b	0,000352
c	1,735142

Elaboración propia
Fuente: (Calvo, 2013)

d. Nitratos

La fórmula de normalización recomendada por (Calvo, 2013) y aplicada en la investigación fue: $NO_{3n} = a + b(x) + c(x^2)$

Donde:

- NO_{3n} = Nitratos en el agua muestreada normalizada
- a,b,c son constantes, cuyos valores son recomendados (Calvo, 2013).
- x = valor tabulado, es decir el valor de nitratos tomado en los puntos de monitoreo

Los detalles del procedimiento de normalización se explican en la Tabla 25:

Tabla 25 Normalización parámetro Nitrato

Elemento	Condición	Decisión
Si x	>50	El valor normalizado es 0
Si x	<50	Se aplicaría la fórmula
Valores de las Constantes		
A		99,42857
B		-0,57143
C		-0,17143

Elaboración propia
Fuente: Calvo, J. 2013

e. Turbiedad

La fórmula de normalización recomendada por (Calvo, 2013) y aplicada en la investigación fue: $Turbiedad_n = a + b(x) + c(x^2)$

Donde:

- $Turbiedad_n$ = Turbiedad en el agua muestreada normalizada
- a,b,c son constantes, cuyos valores son recomendados (Calvo, 2013).
- x = valor tabulado, es decir el valor de turbiedad tomado en los puntos de monitoreo

Los detalles del procedimiento de normalización se explican en la Tabla 26:

Tabla 26 Normalización parámetro Turbiedad

Elemento	Condición	Decisión
Si x	>100	El valor normalizado es 0
Si x	<100	$a + b(x) + c(x^2)$
Valores de Constantes		
A	97,50282	
B	-0,18567	
C	0,0000882	

Fuente: (Calvo, 2013)

f. Sólidos disueltos

La fórmula de normalización recomendada por (Calvo, 2013) y aplicada en la

investigación fue: $SD_n = \frac{1}{a + b(x)^c}$

Donde:

- SD_n = Sólidos disueltos en el agua muestreada normalizada
- a,b,c son constantes, cuyos valores son recomendados (Calvo, 2013).
- x= valor tabulado, es decir el valor de sólidos disueltos tomado en los puntos de monitoreo

Los detalles del procedimiento de normalización se explican en la Tabla 27:

Tabla 27 Normalización parámetro Sólidos disueltos

Elemento	Condición	Decisión
Valor menor a	1	100
Valor mayor a	1	$1 / (a + b(x)^c)$
Valores de Constantes		
a	0,009946	
b	0,0000826	
c	1,110736	

Fuente: (Calvo, 2013).

g. Fosfatos

La fórmula de normalización recomendada por (Calvo, 2013) y aplicada en la

investigación fue: $Fn_n = \frac{a}{1 + be^{-cx}}$

Donde:

- Fn_n = Fosfatos en el agua muestreada normalizada
- a,b,c son constantes, cuyos valores son recomendados (Calvo, 2013).
- e = es constante, cuyo valor fue recomendado (Calvo, 2013).

- x = valor tabulado, es decir el valor de fosfatos tomado en los puntos de monitoreo
- Los detalles del procedimiento de normalización se explican en la Tabla 28:

Tabla 28 Normalización parámetro Fosfatos

Valores de constantes	
A	-48,6896
B	-1,49614
C	-0,19392

Elaboración propia
Fuente: (Calvo, 2013).

h. Temperatura

La fórmula de normalización recomendada por (Calvo, 2013) y aplicada en la investigación fue: $T_n = ax^2 + bx + c$

Donde:

- T_n = Temperatura ambiente normalizada
- a,b,c son constantes, cuyos valores son recomendados (Calvo, 2013).
- x = valor tabulado, es decir el valor de temperatura tomada en los puntos de monitoreo

Los detalles del procedimiento de normalización se explican en la Tabla 29:

Tabla 29 Normalización parámetro Temperatura

Elemento	Condición	Decisión
Si x	>15	El valor normalizado es 0
Si x	0-15	Se aplicaría la fórmula
Valores de constantes		
A	0,4114	
B	-11,714	
C	94,143	

Elaboración propia
Fuente: (Calvo, 2013).

i. Oxígeno disuelto

La fórmula de normalización recomendada por (Calvo, 2013) y aplicada en la investigación fue: $OD_n = a/(1 + be^{cx})$

Donde:

- OD_n = Oxígeno disuelto en el agua muestreada normalizada
- a,b,c son constantes, cuyos valores son recomendados (Calvo, 2013).

x = valor tabulado, es decir el valor del oxígeno disuelto tomada en los puntos de monitoreo

Los detalles del procedimiento de normalización se explican en la Tabla 30:

Tabla 30 Normalización parámetro Oxígeno disuelto

Valores de las Constantes	
a	97,080537
b	60.400.515
c	1,1180264

Elaboración propia
Fuente: (Calvo, 2013).

g) Ponderaciones en peso establecidas por parámetro

Los pesos aquí establecidos vienen de la revisión de los diferentes documentos de la bibliografía y fueron escogidos en función de su mayor reiteración en los estudios y el nivel de pertinencia de acuerdo al tipo de información que manejamos. (Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, 2003). La tabla 31 detalla los pesos ponderados por parámetros:

Tabla 31 Ponderaciones en peso establecidas por parámetro

		0,0089
PARAMETROS	Wi	Wi sin temperatura
Coliformes fecales	0,1300	0,1389
pH	0,1000	0,1089
DBO	0,0800	0,0889
Nitratos	0,1300	0,1389
Turbiedad	0,0800	0,0889
Solidos Disueltos	0,0800	0,0889
Fosfatos	0,0700	0,0789
Temperatura	0,0800	0,0000
Oxígeno disuelto	0,1300	0,1389
Amonio	0,1200	0,1289
	1,0000	1,0000

Elaboración propia
Fuente: (Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas, 2003).

*Se consideran pesos ponderados que tendrían los parámetros al excluir la variable temperatura para un ejercicio comparativo

h) Cálculo del Índice de Calidad del Agua (ICA)

Producto de la investigación se compilan las metodologías para el cálculo de un índice de calidad del agua partir de la revisión de estudios realizados por Van Helmond y Breukel año 1997, mismas que se detallan en la siguiente descripción:

i. **ICA lineal (1, 2, 3):** $\sum_{i=0}^n -1 (Sl_i \bullet W_i)$

Diferenciado por variantes en el uso de parámetros $ICAI_1 + ICAI_2 + ICAI_3$ *

*Se calculan 3 modalidades de ICA lineal, con y sin el parámetro temperatura además de un ICA lineal con valores corregidos, extremos bajos eliminados.

Donde:

$\sum_{i=0}^n$ sumatoria de los parámetros que van desde el límite inferior $i=0$, hasta el

límite superior que es el número total de observaciones

Sl_i es el subíndice de cada indicador normalizado

W_i es el valor de ponderación por cada parámetro

- **ICA no temp:** este ICA no posee el parámetro de temperatura.
- **ICA lineal (1):** este ICA posee el parámetro de temperatura, y permite ajustar los valores de los datos, sin embargo en este la temperatura no se pondera.
- **ICA lineal (2):** este ICA realiza la ponderación con la multiplicación del parámetro temperatura.

Cabe mencionar que en el presente estudio de investigación se considera el parámetro temperatura ambiente como aspecto diferenciador, ya que el Ecuador es un territorio megadiverso que cuenta con diferentes regiones y climas, por lo que este parámetro permite discretizar aspectos concretos del análisis. Por otro lado, la temperatura del agua está influenciada por la temperatura ambiente y está asociada con las condiciones atmosféricas generales y la incidencia del calor solar, dependiendo de la hora de la toma de la muestra, se puede tener una variación, especialmente cuando el área de estudio tiene extremos amplios de temperatura durante el día (Ej. Páramo).

ii. **ICA Modificado:** $\frac{1}{100} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n -1 Sl_i * W_i \right)^2 = ICAm$

Variante que permite reducir el peso relativo de valores alejados de la tendencia central normal de los datos, debido a que usa el cálculo del producto del inverso de número de observaciones.

Donde:

\sum_n^n sumatoria de los parámetros que van desde el límite inferior, hasta el límite superior que es el número total de observaciones

Sl_i es el subíndice de cada indicador normalizado

W_i es el valor de ponderación por cada parámetro

n es el número de observaciones

iii. **ICA Raíz:**
$$\sqrt{\frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{Sl^2}}} = ICAr$$

ICA raíz integra en el cálculo la consideración de la raíz cuadrada del inverso del subíndice con el objeto de eliminar la incidencia de los signos y cantidad de números decimales en el resultado final del índice.

Donde:

\sum_n^n : sumatoria de los parámetros que van desde el límite inferior, hasta el límite superior que es el número total de observaciones.

n : es el número de observaciones

Sl^2 : es el cuadrado del subíndice de cada indicador normalizado

iv. **ICA Exponencial:** $\prod_{i=1}^n (Sl_i * W_i) = ICAe$

Este ICA exponencial busca eliminar en su forma de cálculo la incidencia de valores extremos en el resultado final usando en vez de una sumatoria un producto de las ponderaciones parciales $Sl * W_i$

Donde:

Sl_i es el subíndice de cada indicador normalizado

W_i es el valor de ponderación por cada parámetro

n es el número de observaciones

v. ICA COMPUESTO:

El ICA compuesto que se usó para obtener el resultado final de la evaluación se calcula a partir de un promedio simple de los resultados de los 6 tipos de ICA anteriormente citados, con el fin de integrar en un único dato final las características correspondientes a cada uno de ellos para integrar una evaluación más completa.

$$ICAcc = \text{Promedio} (ICA_{\text{Ano temp}} + ICA_{\text{lineal}_1} + ICA_{\text{lineal}_2} + ICA_{\text{modificado}} + ICA_{\text{Araiz}} + ICA_{\text{exponencial}}) / 6$$

Una vez realizado el cálculo del ICA en sus diferentes modalidades de formulación matemática con el objeto de reducir la incidencia de factores de distorsión, e integrados todos esos resultados en un índice ICA compuesto promedio de los anteriores, se obtiene un resultado final que habiendo sido normalizado y ponderado, cae dentro del rango de 0 a 100, así la estratificación de intervalos de resultado se da en base a una escala referencial también que se obtiene a partir de los documentos analizados de ejercicios similares.

La escala de valoración del estado de vulnerabilidad asociado a la calidad del agua se detalla en la figura 12 según los diferentes rangos de resultado en el índice ICA.

Figura 12 Rangos de calidad del agua

CALIDAD DEL AGUA	COLOR	VALOR
Excelente		91 a 100
Buena		71 a 90
Regular		51 a 70
Mala		26 a 50
Pésima		0 a 25

Elaboración propia
Fuente: (Lobos, 2002) .

Cabe mencionar que el cálculo del índice de calidad del agua, integra en sus consideraciones principales, la gama de características del escenario local, como variante adicional a las señaladas en la bibliografía base, así el cálculo final va incorporando variaciones específicas, frente al original, para ajustarse a la realidad de cada territorio. A partir de una revisión bibliográfica sobre diversos modelos de ICA usados a escala internacional, se han escogido los más próximos a la realidad ecuatoriana para poder ajustarlo en uno unificado y más completo para el presente estudio.

CAPITULO IV

4 RESULTADOS

4.1 APLICACIÓN DEL ICA

En la metodología generada para la evaluación de la influencia de las actividades agroproductivas en la calidad del agua de la microcuenca del Río Burgay, se realizó el cálculo de un Índice de calidad del agua, considerando diez parámetros físico-químicos y microbiológicos. (Ver Figura 11). Para esto, se han calculado otros tipos de ICAs, en torno a la presente investigación, para justificar de mejor manera los resultados. El ICA compuesto da un valor de 46,08 (ver Tabla 32), y muestra que la calidad del agua es regular dentro de la microcuenca del río Burgay, ya que los parámetros que conforman el ICA se encuentran sobre los límites máximos permisibles para el uso del agua destinado para riego y consumo humano principalmente.

A partir de los resultados arrojados del ICA por cada punto de monitoreo dentro de la microcuenca del Río Burgay, se puede observar en la cuenca alta el punto tomado por Senagua en las campañas de monitoreo llevadas a cabo en los años 2013 y 2014 con código DHSCP10, se encuentra un resultado de 64,53 lo que corresponde a una categoría Regular de calidad del agua situada en un área circundada por vegetación herbácea húmeda destinada para actividades de pastoreo, este punto se encuentra en la cota 2880 msnm. En la cuenca media a 2440 msnm se encuentra el punto de monitoreo INAMHI 1 del año 2013, muy cercano a zonas cubiertas por pastos cultivados, con un ICA de 49,06 lo que corresponde a una categoría Mala aproximadamente a 1 km aguas debajo de la ciudad de Azogues.

Hacia la cuenca baja se observan cuatro puntos de monitoreo, entre las cotas 2400 a 2320 msnm, presentando ICA de categoría mala en seis de los puntos de un total de ocho observaciones, ubicados en su mayoría en zonas aledañas a plantaciones forestales, cultivos, canteras y pastos naturales.

Tabla 32 Cálculo de diferentes tipos de ICA en la microcuenca del río Burgay, resultados

No.	AÑO	CÓDIGO	X	Y	DEMARCA	CUENCA	ICA no temp	ICA lineal (1)	ICA lineal (2)	ICA modificado	PROMEDIO MICROCUENCA: 46,08			RESULTADO
											ICA expo	ICA raiz	ICA compuesto	
1	2014	DHSCP10	737058	9702473	Santiago	Cuenca Rio Burgay	80,45	75,40	62,65	70,18	68,91	29,57	64,53	regular
2	2013	DHSCP10	737058	9702473	Santiago	Cuenca Rio Burgay	70,27	74,88	52,12	69,22	16,97	28,16	51,94	regular
3	2013	DHSCP17	736140	9687505	Santiago	Cuenca Rio Burgay	41,94	49,45	35,95	30,19	0,98	22,35	30,15	mala
4	2014	DHSCP17	736140	9687505	Santiago	Cuenca Rio Burgay	38,94	38,40	45,57	18,21	50,26	26,46	36,31	mala
5	2013	H0932	736414	9687902	Santiago	Cuenca Rio Burgay	80,42	49,50	52,92	30,25	56,75	28,28	49,69	mala
6	2014	H0932	736414	9687902	Santiago	Cuenca Rio Burgay	71,17	48,30	50,50	28,80	54,60	28,03	46,90	mala
7	2014	H0932	736414	9687902	Santiago	Cuenca Rio Burgay	74,65	49,70	63,10	30,49	69,14	29,60	52,78	regular
8	2013	H1110	735982	9687995	Santiago	Cuenca Rio Burgay	68,44	38,02	52,32	17,84	57,92	27,08	43,60	mala
9	2014	H1110	735982	9687995	Santiago	Cuenca Rio Burgay	51,58	27,58	56,35	9,39	68,85	51,18	44,15	mala
10	2013	INAMHI 1	739398	9694723	Santiago	Cuenca Rio Burgay	56,06	54,16	47,88	36,22	60,10	39,93	49,06	mala
11	2013	INAMHI 2	736298	9686317	Santiago	Cuenca Rio Burgay	67,10	53,63	61,08	35,50	74,87	35,61	54,63	regular
12	2013	INAMHI 3	731418	9690606	Santiago	Cuenca Rio Burgay	70,14	55,45	56,29	37,96	72,86	46,98	56,61	regular

Elaboración propia

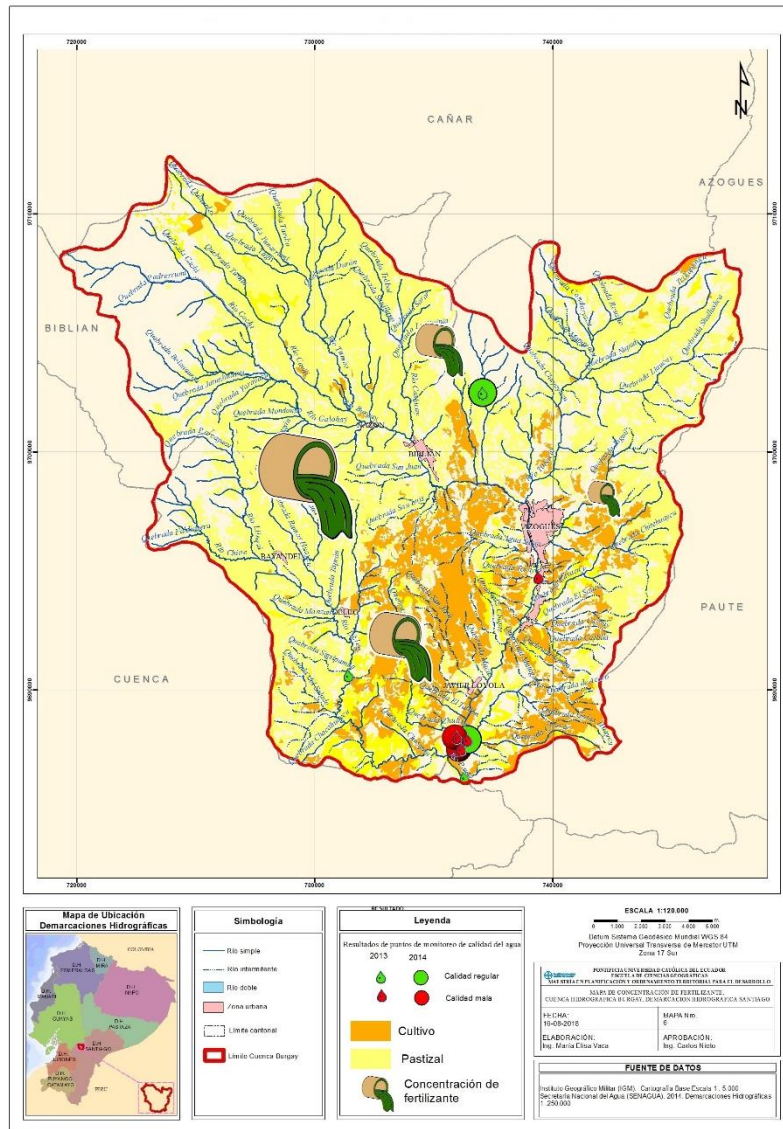
Datos importantes que aporta la FAO en un reporte del año 1993 señalan que aproximadamente el 70% de los recursos hídricos del mundo son usados por la agricultura, lo cual significa que esta actividad es el principal factor de la degradación del agua, considerando procesos vinculados como la erosión y de la escorrentía química, entre otros.

En el Ecuador de igual manera el 60% del caudal de los recursos hídricos superficiales se destinan para riego. Por otro lado se ha observado que la agricultura en su proceso de arrastre de sedimentos, ocasiona una fuerte pérdida de suelos y por ende capa vegetal atada a ellos, incrementando las posibilidades de contaminación de aguas superficiales. Éste fenómeno justamente posee dos dimensiones principales: la dimensión física, consistente en la pérdida de la capa arable del suelo, y la degradación de la tierra como consecuencia de la erosión laminar y cárcavas que provocan los altos niveles de turbidez. (FAO, 1993).

Además, de las capas más vivas del suelo, por decirlo de alguna forma, se observa que el nitrato es típicamente lixiviado desde los campos cultivados y se mueve a poca profundidad, subterráneamente, hacia las fuentes superficiales; esta lixiviación se reduce hasta en un 15% cuando se dan prácticas de manejo de conservación de suelos y agua, conclusiones éstas detalladas en los estudios de (Wagner, 1996).

El uso excesivo de fertilizantes en determinados tipos de cultivo y explotación agrícola, así como las corrientes de agua de tormentas conteniendo nitratos de fertilizantes, factor éste asociado también a efectos climatológicos de orden más estructural, parece ser la causa de los altos niveles de nitrato en aguas debajo de las tierras de cultivo; (Organización Mundial para la Salud, 1993). En el mapa 7 se observa la concentración de fertilizante por cultivo en la microcuenca del río Burgay. Se observa a través de los símbolos graduales del mapa que la mayor concentración de agroquímicos corresponden a las superficies ocupadas por pastizales, las cuales ocupan una amplia extensión en toda la microcuenca; en segundo lugar se concentran los fertilizantes en las parroquias Javier Loyola, Cojitambo Azogues, San Miguel, Luis Cordero, cuya superficie se encuentra cultivada en su mayoría.

Mapa 7 Mapa concentración fertilizante por cultivo, cuenca Burgay



Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada 2018.

En la zona de Biblián, al utilizar gran cantidad de fertilizante en pastizales poseen una simbología con la mayor gradualidad en el mapa para representar la concentración de fertilizante nitrogenado. Seguido por Deleg, que ocupa mucho fertilizante para la producción de su cultivo principal, las frutillas. Se puede observar el contraste de esta simbología con los puntos de monitoreo de calidad del agua que presentaron ICA regulares y malos, diferenciados por año (2013-2014). En el contexto de la planificación y el Ordenamiento Territorial, es necesario realizar un adecuado plan de uso del suelo en el territorio, el cual debe estar programado dentro de un Plan de Ordenamiento por parte del GAD, o dentro de un Plan Integrado para el manejo de una cuenca hidrográfica.

Las actividades productivas que se realizan generalmente en las cuenca del Burgay como los productos de ciclo corto, tienen un alto impacto en las partes altas de las cuenca, en estas circunstancias los suelos presentan alto nivel de degradación, son pobres en nutrientes y poseen fuertes pendientes, donde se cultivan granos básicos y hortalizas, e inclusive se destinan extensas zonas para el pastoreo, afectando a los recursos hídricos en calidad y cantidad.

Bajo el análisis del detalle de la problemática y la revisión bibliográfica de incidencia de factores del entorno, se confirma la necesidad de considerar aspectos biofísicos (especialmente relacionados al suelo) de influencia en las fuentes, para separar niveles de incidencia de la actividad humana de forma puntual, de los relacionados al entorno. Estos elementos de análisis forman parte del Capítulo V sobre la construcción de un Modelo de Regresión,

4.1.1 Análisis de correlaciones entre parámetros de cálculo para obtención ICA

Por medio del análisis de correlaciones o de similitud del comportamiento de los parámetros físicos-químicos y microbiológicos podemos advertir una relación causal del estado de éstos en cuanto al ICA obtenido y referido a la calidad del recurso hídrico, dicho análisis se realiza por medio de la obtención del coeficiente de correlación de Pearson que mide el nivel de coincidencia en cuanto a la variabilidad de los datos entre dos parámetros, así el coeficiente de correlación de Pearson destaca en qué medida los cambios del comportamiento de los datos medidos de un parámetro pueden explicar en medida razonable las variaciones de comportamiento de los datos de otro parámetro.

Las correlaciones separadas que vinculan cada parámetro con el resultado del ICA nos ayudan también a darnos cuenta de la importancia individual del nivel explicativo de éstos en relación al resultado para en función de ello tomar en cuenta al momento de una correcta interpretación hacia el dato general.

Tabla 33 Correlaciones de los parámetros y el ICA calculado en la microcuenca del Río Burgay, año 2013

2013

	Coliformes	pH	Demanda_Bi	Nitratos	Turbiedad	Sólidos_d	Fosfatos	temperatura ambiente	oxígeno disuelto
Coliformes	100%	27%	53%	37%	66%	62%	0%	-25%	-47%
pH		100%	-14%	0%	11%	10%	0%	-19%	-13%
Demanda_Bi			100%	74%	51%	79%	0%	-19%	-21%
Nitratos				100%	29%	64%	0%	-12%	-13%
Turbiedad					100%	78%	0%	-36%	-3%
Sólidos_d						100%	0%	-35%	-16%
Fosfatos							0%	0%	0%
temperatura ambiente								100%	-13%
oxígeno disuelto									100%
ICA	89%	31%	31%	26%	56%	51%	0%	-36%	-43%

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2017.

Tabla 34 Correlaciones de los parámetros y el ICA calculado en la microcuenca del Río Burgay, año 2014

2014

	Coliformes	pH	Demanda_Bi	Nitratos	Turbiedad	Sólidos_d	Fosfatos	temperatura ambiente	oxígeno disuelto
Coliformes	100%	-25%	36%	24%	21%	32%	0%	-27%	-31%
pH		100%	-13%	-17%	-14%	-25%	0%	-10%	-17%
Demanda_Bi			100%	17%	20%	47%	0%	2%	4%
Nitratos				100%	90%	32%	0%	1%	42%
Turbiedad					100%	39%	0%	-10%	30%
Sólidos_d						100%	0%	-15%	13%
Fosfatos							0%	0%	0%
temperatura ambiente								100%	31%
oxígeno disuelto									100%
ICA	77%	-35%	5%	10%	68%	-2%	0%	5%	-24%

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2017.

Los parámetros que muestran correlaciones más significativas en el año 2013 presentados en la tabla 33 son: coliformes fecales y turbiedad los cuales presentan un coeficiente Pearson de 89% y 56% respectivamente, en base a lo cual podemos destacar que su nivel de explicabilidad del ICA es alto y de igual forma su representatividad frente a los demás parámetros. Por otro lado en el análisis de correlación entre parámetros observamos que existen pares de parámetros que presentan un coeficiente alto entre sí como es el caso de sólidos disueltos tanto con

demanda bioquímica de oxígeno (79%) como con turbiedad (78%) así las distribuciones de variación de los datos de estos tres parámetros son bastante similares en dicho año lo cual puede apoyar la identificación de un patrón de comportamiento común.

Para el año 2014 los parámetros que registran un más alto coeficiente de correlación respecto del ICA resultado son al igual que en el año 2018 coliformes fecales y turbiedad con coeficientes de hasta el 77% y 68% respectivamente, en tanto se evidencia una menor correlación entre parámetros resaltando únicamente la relación entre turbiedad y nitratos con 90% (ver tabla 34).

CAPITULO V

5 MÉTODO DE VALIDACIÓN Y CONTRASTE DE LOS RESULTADOS DEL ICA

Una vez obtenidos los resultados del ICA y en función de corroborar su validez investigativa es importante la utilización de herramientas de contraste y validación para verificar complementariamente el diagnóstico inicial, y para ello se ha definido la construcción de un modelo de regresión, mismo que permite hacer inferencia sobre resultados bajo el uso combinado de variables de las que dispongamos información.

Se espera que, mediante el cálculo de una ecuación que integra el uso de variables alternativas a las ya usadas en el cálculo directo del ICA (parámetros físico-químicos), se pueda obtener un ICA resultado alternativo para verificar los niveles de vulnerabilidad de la calidad del agua obtenidos en primera instancia.

Para ello se ha considerado que las variables alternativas van a ser los parámetros biofísicos sobre los cuales se posee información bajo el uso complementario de herramientas cartográficas.

5.1 Proceso de construcción de un Modelo de regresión aplicado a la calidad del agua

Consideraciones fundamentales:

Variable Dependiente: se trata de la variable esperada como resultado del modelo, misma que se obtiene como resultado final de la ecuación planteada en el modelo, surge derivada de la interacción de las demás variables independientes o explicativas incluidas en el análisis, en este caso la variable dependiente será el ICA, como resultado esperado de la ecuación.

Variable independiente: Como variables explicativas del comportamiento del ICA se han escogido los parámetros biofísicos del territorio sobre los cuales se posee información valiosa especialmente dentro del área de estudio. Entre los parámetros biofísicos a evaluarse para integrar el modelo están: Profundidad efectiva del suelo, elementos gruesos, toxicidad del suelo, pH del suelo, profundidad del nivel freático, régimen de humedad del

suelo entre tantos otros parámetros similares que entre todos suman un total de 24 parámetros cuya información se desprende del análisis cartográfico multivariable, cuya fuente es el Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales-SIGTIERRAS.

Para la integración de la información sobre estos parámetros, la cual es mayormente de carácter cualitativo, es necesario convertir las diferentes categorías, en registros cuantitativos (estandarizar las diferencias en forma numérica) para lo cual se propone una transformación escalar detallada en los siguientes apartados del documento. (Ver 5.4).

5.2 Justificación del Modelo de Regresión Lineal Múltiple

En función del análisis de correlaciones entre la variable dependiente (ICA) y cada una de las variables independientes se determina que ninguna de ellas por si sola alcanza suficiente nivel de explicabilidad fiable para inferir el comportamiento del ICA, por lo cual necesariamente debe considerarse una combinación de variables explicativas para integrar el modelo, esto es analizar la tendencia de datos de varios parámetros geofísicos y biofísicos a la vez y que sumados puedan acercar una mejor idea explicativa de la variable ICA en conjunto, por lo cual el modelo de regresión es múltiple.

Se ha adoptado el supuesto de linealidad en el modelo debido a que la información de las variables explicativas basadas en parámetros biofísicos, se transforman en escalares de magnitud regular, esto quiere decir que los valores varían entre un escalar y otro en magnitudes de uno entre cada escalar, así por ejemplo para PH del suelo se diferencian 5 rangos de resultado y cada uno de ellos fue asignado un escalar que difiere en relación de 1 del siguiente escalar obteniendo al final 5 escalares del 1 al 5, por tanto la transformación a escalares indica que un cambio en el ICA estaría siendo explicado por el cambio de escalares en los parámetros biofísicos y geofísicos de forma regular lineal, no exponencial y no logarítmica por ejemplo, para las cuales se asumiría que los cambios en los escalares son incrementales o cada vez mayores en tanto se da un cambio en el ICA.

Este supuesto de linealidad atañe el hecho de que los datos de variables explicativas siguen una tendencia regular conforme varía el ICA y no sufren saltos significativos entre los puntos, además de que al contar con únicamente doce observaciones explicativas de

calidad del agua (aquellas que se encuentran dentro del área de estudio) una regresión de mayor complejidad como la exponencial o logarítmica no tendría el suficiente sustento y entonces el supuesto de linealidad es el más adecuado.

Para la construcción del modelo inferístico se siguen los siguientes pasos:

1. Transformación escalar de las variables cualitativas explicativas (parámetros biofísicos).
2. Depuración de variables biofísicas principales y análisis de correlaciones de variables explicativas para depurar aquellas que tengan mejor incidencia en el modelo
3. Construcción del modelo en función del ingreso de series de ICA y escalares biofísicos en el software SPSS
4. Prueba sucesiva de combinaciones de variables para obtener el coeficiente de regresión R^2 más alto posible.
5. Determinación de coeficientes, análisis de confianza y análisis de estadísticos resultado sobre el mejor modelo obtenido.

Para la construcción de este Modelo Inferístico fue necesario la utilización de los resultados del índice de calidad del agua, elaborado en una instancia previa al modelo y que se estableció como variable respuesta, esto se vuelve una condición necesaria al desarrollar un modelo de regresión multivariable. Por otra parte, las variables predictoras son representadas por distintas variables ambientales que tengan incidencia en la calidad de las aguas, y en el caso de este estudio utilizaremos variables de tipo geofísico y biofísico. Los siguientes pasos corresponden al modelo inferístico aplicado a la calidad del agua:

5.3 Consideración de las variables explicativas – Parámetros Biofísicos y Geofísicos

De acuerdo a la disponibilidad de información y una vez analizando características como fiabilidad, heterogeneidad, representatividad y otros factores de relevancia para construir una lista de parámetros biofísicos que puedan tener cierta incidencia en la vulnerabilidad

de la calidad del agua en el territorio de estudio, se han tomado de primera mano la siguiente lista de parámetros biofísicos (ver tabla 35), para probar la representatividad de un posible modelo basado en su representación para determinar la calidad del agua:

Tabla 35 Parámetros biofísicos y geofísicos considerados en la construcción del modelo de regresión

No.	NOMBRE	UNIDAD DE MEDIDA	FUENTE
1.	Textura	(%) suelos arenosos, suelos francos, suelos arcillosos	FAO, 2009. Guía para la Descripción de Suelos.
2.	Drenaje	(Cualitativo) Excesivo (E), Bueno (B), Moderado (M), Mal drenado (X).	Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2012
3.	Profundidad efectiva	cm.	Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2012
4.	Pedregosidad	(%)	FAO, 2009. Guía para la Descripción de Suelos.
5.	Afloramiento rocoso	(%)	Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2012
6.	Elementos gruesos	(%)	Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2012
7.	Toxicidad	meq Ca/100 ml	Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2012
8.	pH	Grado de alcalinidad	FAO, 2009. Guía para la Descripción de Suelos.
9.	Salinidad	dS/m	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
10.	Profundidad Nivel freático	cm.	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
11.	Régimen de temperatura del suelo	°C	Fuente: Instituto Espacial Ecuatoriano, 2012
12.	Régimen de humedad del suelo	Cualitativo	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
13.	Materia orgánica	(%)	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
14.	Capacidad de intercambio catiónico	cmol/kg	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
15.	Saturación de bases	(%)	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)

			Ecuatoriano, 2015)
16.	Fertilidad	Cualitativo	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
17.	Inundabilidad	Meses	(Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2009)
18.	Índice de susceptibilidad erosión hídrica	Meses	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
19.	Área		
20.	Pendiente	%	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
21.	Caudal	l/s	(Secretaría Nacional del Agua, 2009)
22.	Cobertura	Cualitativo	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
23.	Uso del suelo	Cualitativo	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)
24.	Sistema de producción	Cualitativo	(Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015)

Elaboración propia

Es importante mencionar que se realizó la discretización de las variables relevantes, y el número se redujo de 24 a 14 variables, considerando los siguientes criterios que surgieron producto del procesamiento y depuración de los datos:

- Disponibilidad de los datos
- Fiabilidad del dato (respaldo de fuente)
- Heterogeneidad de los datos (que sean diferenciados de punto a punto)
- Representatividad de los datos (distribución dentro del área de estudio)
- Análisis de la influencia de la variable biofísica o geofísica en la calidad del agua (correlación representativa)

La selección de las variables finales que forman parte del modelo se realizó mediante una técnica de inclusión progresiva (sensibilidad del coeficiente de regresión frente al cambio por inclusión o exclusión de parámetros), teniendo como base un análisis de correlación previo de resultados por cada una de las variables respecto del ICA.

5.4 Transformación escalar de los parámetros biofísicos, geofísicos seleccionados para el modelo inferístico

Para los fines que concierne la presente investigación, se requiere que los datos asociados a cada uno de estos parámetros biofísicos antes descritos se trasladen a una misma unidad de interpretación a fines de poder compararlos, esto es llevar a una misma unidad de medida las diferentes consideraciones por variable, las cuales se discretizan bajo una misma escala de valoración cuantitativa, esto en función de identificar las categorías más y menos propensas a describir una mejor calidad del agua según corresponda.

Es así que, a cada uno de los parámetros se le otorgó un valor escalar relacionado a su menor o mayor capacidad de influenciar en la vulnerabilidad de la calidad del agua, esto es por ejemplo, dado que un menor nivel de pH del suelo está asociado a una menor vulnerabilidad de la calidad del agua, asociándola con dicho factor dentro de la escala de datos, al rango de menor valor se le da un escalar más alto, a fin de que tenga coincidencia con un mayor ICA o un menor nivel de vulnerabilidad de la calidad, así la relación en este caso es inversa, a menor dato de PH del suelo, mayor valor de su escalar.

De igual forma un mayor nivel de pedregosidad está asociado con una mayor protección del entorno de la fuente evitando que ésta se afecte por factores externos, así a mayor pedregosidad tendrá un escalar mayor, lo cual conlleva relación directa también con un mayor nivel de puntaje ICA. O de otra forma también, una cobertura de suelo señalada como bosque se traducirá con un escalar alto, entendiendo que está relacionada a una mejor calidad del agua dadas sus características, por tanto se esperaría de ello un índice ICA más alto que respecto a otras coberturas menos favorables, las cuales tendrían un escalar menor.

Las consideraciones para otorgar los diferentes escalares, según los rangos, intervalos de datos en cada parámetro biofísico, se realizaron mediante un procedimiento de revisión bibliográfica, y el criterio de técnicos especialistas basados en la experiencia. Los valores de escalar más alto señalan que existe mayor correlación del rango señalado con una menor vulnerabilidad o en otras palabras, una mayor calidad del agua, por tanto a un más alto escalar designado mejor es la calidad del agua asociada.

En función de esto, se tomaron los datos que para cada parámetro a partir de las diferentes fuentes tales como IEE, SIGTIERRAS, entre otras, y luego en función de un proceso de georeferenciación, se pudo asociar el dato a la localización de los puntos de control de calidad del agua con los que se trabajó en la construcción del ICA. En resumen, podemos separar la secuencia de la transformación escalar de parámetros biofísicos y geofísicos de la siguiente forma:

- a) A cada valor o categoría cualitativa de cada parámetro biofísico relevante se le asigna un valor entre 1 y n (siendo n igual al número total de categorías o valores), por ejemplo si hay 3 valores posibles para toxicidad se asignaran 3 escalares, asignando el número 3 al valor más propenso a una mejor calidad del agua. Este criterio está justificado con los insumos detallados en el marco teórico.
- b) Se calcula un escalar transformado, o sea llevado a términos sobre 100 mediante una regla de tres simple, respecto del ICA más alto dentro de la microcuenca en estudio.
- c) Se tabulan todos los datos tanto del valor original de la categoría del parámetro como del valor escalar (valor entre 1 y n), para hacer la posterior relación en la tabla SPSS. A continuación, en la tabla 36 se mostrarán las variables consideradas en el análisis y los niveles de escalares asignados:

Tabla 36 Escalares transformados para los valores y categorías de parámetros biofísicos y geofísicos

PROFUNDIDAD EFECTIVA DEL SUELO		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
>100	5	61,51
51-100	4	49,21
21-50	3	36,90
11-20	2	24,60
0-10	1	12,30
ELEMENTOS GRUESOS		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
0	6	61,51
0-2	5	51,26
3-5	4	41,00

6-15	3	30,75
16-40	2	20,50
41-80	1	10,25
TOXICIDAD DEL SUELO		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
0	3	61,51
0,5-1,5	2	41,00
>1,5	1	20,50
pH DEL SUELO		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
5,0-5,5	5	61,51
5,5-6,0	4	49,21
6,0-6,5	3	36,90
6,5-7,5	2	24,60
7,5-8,0	1	12,30
INTERCAMBIO CATIONICO		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
>30	4	61,51
21-30	3	46,13
5-20	2	30,75
<5	1	15,38
RÉGIMEN DE HUMEDAD DEL SUELO		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
PERUDICO	3	61,51
UDICO	2	41,00
USTICO	1	20,50
MATERIA ORGÁNICA		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
>5	3	61,51
3-5	2	41,00
<3	1	20,50
COBERTURA DEL SUELO		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
Páramo	15	61,51
Bosque	14	57,41

húmedo		
Bosque seco	13	53,51
Matorral húmedo	12	49,21
Matorral seco	11	45,10
Veget herbácea húmeda	10	41,00
Veget herbácea seca	9	36,90
Maíz suave	8	32,80
Maíz duro	7	28,70
Cultivos ciclo duro	6	24,60
Eucalipto	5	20,50
Pasto cultivado	4	16,40
Cultivos semipermanente	3	12,30
Cultivos permanentes	2	8,20
Cantera	1	4,10
SATURACIÓN DE BASES		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
>50	3	61,51
35-50	2	41,00
<35	1	21,50
USO DEL SUELO		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
Conservación y protección	5	61,51
Conservación y producción	4	49,21
Agrícola	3	36,90
Pecuario	2	24,60
Antrópico	1	12,30
FERTILIDAD DEL SUELO		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
alta	3	61,51
moderada	2	41,00
baja	1	20,50
PENDIENTE		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado de que o como
2-5	7	61,51
5-12	6	52,72
12-25	5	43,93
25-40	4	35,15

40-70	3	26,36
70-100	2	17,57
100-150	1	8,79
CAUDAL		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
2	8	61,51
1.5	7	53,82
1	6	46,13
0.4	5	38,44
0.3	4	30,75
0.25	3	23,06
0.05	2	15,38
0	1	7,69
PEDREGOSIDAD		
Rangos del dato	Escalar asignado	Escalar transformado
51.75	5	61,51
26-50	4	49,21
10-25	3	36,90
<10	2	24,60
0	1	12,30

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2 018.

5.5 Descripción de los parámetros biofísicos y geofísicos

- a) **Profundidad efectiva del suelo:** los rangos de incidencia de esta variable en la calidad del agua van de 0-10=BAJO; 11-50=MEDIA; 51-100=ALTO; >100= MUY ALTO. Donde, el rango que corresponde a MUY ALTO es aquel que más influye para una buena calidad del agua en la zona de estudio. Podríamos asumir como supuesto que un mayor nivel de profundidad en el suelo está asociado a una menor vulnerabilidad de la calidad del agua. El análisis correspondiente, aplicado al presente estudio de investigación, determina que mientras más profundo es un suelo, presentará mejores condiciones, ya que la roca madre estará bajo varias capas de tierra y ese suelo será menos propenso a la erosión. (Instituto Espacial Ecuatoriano, 2015). Sin embargo cabe realizar ciertas consideraciones en los casos de los acuíferos, o el agua subterránea que finalmente desemboca en los cuerpos loticos superficiales, los cuales pueden verse afectados en su calidad debido a los procesos de infiltración, solifluxión de agentes contaminantes (fertilizantes, pesticidas), provenientes de actividades agropecuarias en la zona de estudio.

- b) **pH:** Los rangos de incidencia de esta variable en la calidad del agua van de 5,0-6,0=NEUTRO; 6-6,5=BÁSICO; 6,5-8,0=ÁCIDO. **Los datos que arrojen valores por**

debajo de 5 y encima de 8 son considerados muy poco probables o de afectación extrema dentro de la microcuenca de estudio. Se muestran los diferentes rangos de datos. La actividad del ión hidrógeno puede afectar directa o indirectamente la actividad de otros constituyentes presentes en el agua, la medida del pH constituye un parámetro de importancia para la descripción de los sistemas biológicos y químicos de las aguas naturales. Estudios realizados por (Lemly, 1982) registraron un pH elevado en zonas ganaderas con pastoreo permanente por efecto de la concentración del nitrógeno y fósforo asociado a los sedimentos debido al pastoreo. (Calvo, 2013).

- c) **Régimen de humedad del suelo:** los rangos de incidencia de esta variable en la calidad del agua van de Ústico=BAJO; Údico=MEDIA; Perúdico=ALTO. Donde, el rango que corresponde a ALTO, es aquel que más influye para una buena calidad del agua en la zona de estudio y por lo tanto se le asignará un escalador de 3, **criterio que parte de un supuesto establecido por el autor en base a consultas con técnicos de control de calidad del agua en entidades regulatorias;** así el valor más alto, puesto que este régimen de humedad representa una distribución regular de la pluviometría a lo largo del año, lo cual implica un mayor aporte a la calidad del agua, disminuyendo su vulnerabilidad. El escalador transformado es de 61,51 para la categoría más alta, y el escalador más bajo es de 20,50 que corresponde al escalador asignado de 1, referente al rango Ústico.
- d) **Fertilidad del suelo:** observamos que la información secundaria proporcionada por SIGTIERRAS, en la zona de estudio, la microcuenca del río Burgay, se presentan 3 categorías entorno a esta variable, el valor más alto corresponde a un rango preestablecido de alta y por lo tanto se le asignará un escalador de 3, puesto que este rango de fertilidad representa una buena condición del suelo, lo cual implica un mayor aporte a la calidad del agua, disminuyendo su vulnerabilidad. El escalador transformado es de 61,51 para la categoría más alta, y el escalador más bajo es de 20,50 que corresponde al escalador asignado de 1, referente a la fertilidad baja.
- e) **Cobertura vegetal natural:** observamos que la información secundaria proporcionada por SIGTIERRAS, en la zona de estudio, la microcuenca del río Burgay, se presentan 15 categorías entorno a la variable sobre la cobertura de la tierra, el valor más alto

corresponde a la categoría sobre páramo y por lo tanto se le asignará un escalár de 15, puesto que mientras mayor sea la cobertura vegetal natural, brindará un mayor aporte a la calidad del agua, disminuyendo su vulnerabilidad. El escalár transformado es de 61,51 para la categoría más alta, y el escalár más bajo es de 4,10 que corresponde al escalár asignado de 1, referente a la categoría canteras, el criterio se basa en el uso de supuestos prácticos producto de la consulta con el Consultor Especialista del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo PNUD proyecto Cuarta Comunicación Nacional referente a temas de cambio climático⁶. (Lucero, 2018), comunicación personal, 25 de julio 2018.

- f) **Uso del suelo:** la información secundaria proporcionada por SIGTIERRAS, en la zona de estudio, se presentan 5 categorías entorno a la variable sobre el uso del suelo, el valor más alto corresponde a Conservación y Protección, y por lo tanto se le asignará un escalár de 5, puesto que mientras más se destine el uso del territorio a la protección de la cobertura vegetal natural y cuidado de las fuentes, brindará un mayor aporte a la calidad del agua, disminuyendo su vulnerabilidad. El escalár transformado es de 61,51 para la categoría más alta, y el escalár más bajo es de 12,30 que corresponde al escalár asignado de 1, referente a la categoría Antrópico.
- g) **Caudal:** la información secundaria proporcionada por SIGTIERRAS presenta 8 categorías entorno a esta variable, el valor más alto corresponde a un rango preestablecido a 2 y por lo tanto se le asignará un escalár de 8, puesto que este es el dato más alto, entorno al caudal en la zona de estudio, lo cual implica un mayor aporte a la calidad del agua, disminuyendo su vulnerabilidad. El escalár transformado es de 61,51 para la categoría más alta, y el escalár más bajo es de 7,69 que corresponde al escalár asignado de 1, referente al rango 0.

5.6 Análisis de correlaciones de variables explicativas, con el ICA

Las correlaciones entre las variables explicativas y la variable dependiente ICA, arroja algunos resultados; en la tabla 37 se observan aquellas que están más estrechamente

⁶ (Lucero, 2018), comunicación personal, 25 de julio 2018. Los criterios usados para establecer los escalares fueron tomados de la consulta personal al Econ. Roberto Daniel Lucero Romero, consultor especialista INGEI del programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo vinculado a estudios sobre el cambio climático.

relacionadas con el ICA, las cuales son: pH del suelo, humedad del suelo, toxicidad del suelo, materia orgánica, capacidad de intercambio catiónico, saturación de bases, cobertura, uso del suelo, todas ellas poseen una correlación del 50% aproximadamente, lo cual puede justificarse según la calidad y la cantidad de datos que tenemos en el área de estudio.

De igual manera, los datos usados para la construcción del modelo, los parámetros biofísicos y geofísicos como variables explicativas, podemos observar que no existe mayor incidencia de factores estacionales en la determinación del modelo, ya que la mayoría de datos/observaciones (12 total) que pertenecen a un mismo punto, se tomaron en la misma época con condiciones climáticas y geomorfológicas similares bajo un clima templado-frío de alrededor de 14°C aun cuando en diferentes años, únicamente existe doble campaña en un mismo año para un par de puntos para los cuales se puede observar la correspondencia con datos biofísicos bastante similares por lo cual no existiría mayor incidencia de elementos diferenciadores a priori en el modelo, esto en cuanto a las condiciones de vulnerabilidad del agua respecto de la época del año en la que fueron tomados los registros, ya que se registran las observaciones en la misma curva del ciclo temporal

Tabla 37 Correlaciones entre las variables explicativas con el ICA

Correlaciones																		
	ICA	Profundidad_ef	PH_suelo	Humedad_suelo	Fertilidad	Caudal	Número	Elementos_gr	Toxicidad_suelo	Materia_org	Int_cationico	Saturación_bas	Pendiente	Cobertura	Uso_suelo	Pedregosidad	Caudal	
ICA	1	,519	-,190	.a				,476	.a	,257	-,630	.a	-,446	,073	,228	,103	,012	
Profundidad_ef	,519	1	-,204	.a				,702	.a	-,164	-,614	.a	-,298	,310	,409	,473	,440	
Elementos_gr	,476	,702	,408	.a			1	.a	.a	,466	-,800	.a	-,489	,671	,408	,674	,657	
Toxicidad_suelo	.a	.a	.a	.a				.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	
PH_suelo	-,019	-,204	1	.a				,408	.a	,353	,058	.a	,254	,154	-,424	,275	,315	
Humedad_suelo	.a	.a	.a	.a				.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	
Materia_org	,257	-,164	,353	.a				,466	.a	1	-,653	.a	-,644	,708	,434	,314	,306	
Int_cationico	-,630	-,614	,058	.a				-,800	.a	-,653	1	.a	,786	-,777	-,728	-,539	-,502	
Saturación_bas	-,556	.a	.a	.a				.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	.a	
Fertilidad	-,314	-,832	-,184	.a				-,632	.a	,295	,316	.a	-,202	-,075	,092	-,426	-,428	
Pendiente	-,446	-,298	,254	.a				-,489	.a	-,644	,786	.a	1	-,717	-,897	-,329	-,279	
Cobertura	,073	,310	,154	.a				,671	.a	,708	-,777	.a	-,717	1	,792	,453	,464	
Uso_suelo	,228	,409	-,424	.a				,408	.a	,434	-,728	.a	-,897	,792	1	,275	,247	
Pedregosidad	,103	,473	,275	.a				,674	.a	,314	-,539	.a	-,329	,453	,275	1	,990	
Caudal	,012	,440	,315	.a				,657	.a	,306	-,502	.a	-,279	,464	,247	,990	1	

Es así que, de 24 variables, se seleccionan finalmente 14 de mayor relevancia, y se las agrupan en 4 categorías, tal como se observa en la tabla 38:

Tabla 38 Variables biofísicas y geofísicas relevantes escogidas para incluirlas en el modelo

Variables biofísicas y geofísicas	Categorías
1.Caudal	Hidrometeorología
2. Cobertura de la tierra	Cobertura y uso del suelo
3. Uso del suelo	
4. pH del suelo	Suelo
5. Regimen de humedad del suelo	
6. Capacidad de intercambio catiónico del suelo	
7. Saturación de bases	
8. Fertilidad del suelo	
9. Pedregosidad del suelo	
10. Materia orgánica del suelo	
11. Profundidad efectiva del suelo	
12. Elementos gruesos	
13. Toxicidad del suelo	
14. Pendiente	Geomorfología

Elaborado por: Ing. María Elisa Vaca Boada, 2018

Fuente: (Instituto Espacial Ecuatoriano; Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca; Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca, 2012)

5.7 Construcción del Modelo de Regresión para el diagnóstico de la calidad del agua

Un modelo inferístico es una ecuación que integra dos tipos de variables dependientes e independientes, y que mediante el uso de los datos de una o varias variables independientes de las cuales se posee información, se puede explicar el comportamiento cuantitativo de la variable dependiente que se quiere explicar y sobre la cual se hace el modelo, esto con la ayuda del producto de coeficientes constantes.

Para la construcción de este Modelo de Regresión se utilizaron los resultados del índice de calidad elaborado en una instancia previa al modelo como variable dependiente o explicada, por otra parte, las variables explicativas son representadas por parámetros biofísicos, mismos que tienen incidencia relevante en la calidad de las aguas (León, 1992), y que para el caso de este análisis son de tipo biofísico, climático y geofísico.

Los algoritmos empleados para cada método de reducción son diferentes y en caso de haber diferencias, se deben tomar decisiones justificadas acerca de las variables que conformen el modelo. Acuña (2011) ha indicado que los resultados obtenidos al emplear estas metodologías, no son absolutos, sino que en algunos casos puede prevalecer el criterio de experto, esto según el nivel de aplicabilidad a cada entorno y sus características propias, como cuando se considera que una variable biofísica determinada es relevante según el área de estudio, Por mencionar un ejemplo, la cobertura del suelo que ayuda a identificar superficies de aprovechamiento productivo. (Acuña, 2011).

En el modelo construido se presentan los resultados de una correlación entre la tendencia numérica del conjunto de variables biofísicas (que son las independientes) y la tendencia numérica de la variable dependiente, esto es cómo la suma de los parámetros biofísicos medidos en campo vienen a explicar el comportamiento en la variación de los datos de la variable dependiente calculada, que en este caso es el dato resultado del ICA, como ya se ha señalado.

Se utilizó el programa estadístico SPSS, específicamente los comandos de regresión lineal, ingresando inicialmente los datos calculados de la variable explicada o dependiente (datos del índice de calidad del agua compuesto resultado) y seguidamente se ingresaron los datos de las distintas variables explicativas tabuladas según cada punto de monitoreo (variables relacionadas con el entorno geofísico, biofísico, climatológico); así en la construcción del modelo se realizaron pruebas sucesivas que se basan en la combinación secuencial de variables explicativas en función de ir evaluando el mejor coeficiente de regresión ajustada paso a paso (ver ilustración 2).

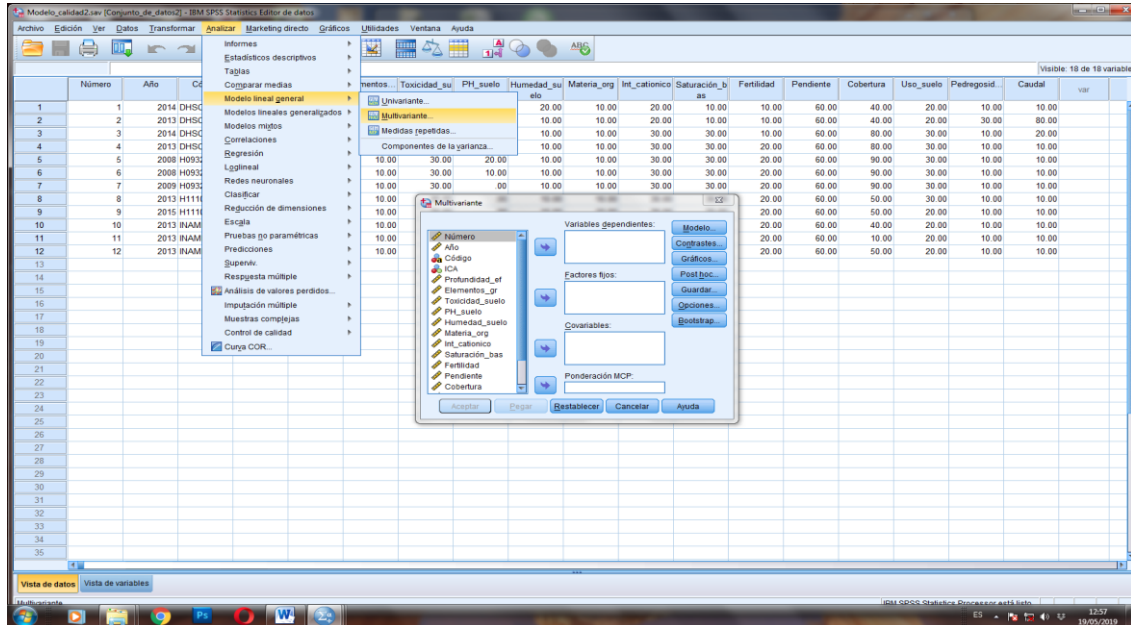
Ilustración 2 Pantalla SPSS para el ingreso de variables

	Número	Año	Código	ICA	Profundidad_ef	Elementos	Toxicidad_suelo	PH_suelo	Humedad_suelo	Materia_org	Int_cationico	Saturación_bas	Fertilidad	Pendiente	Cobertura	Uso_suelo	Pedregosid.	Caudal	var
1	1	2014	DHSCP10	64.53	20.00	30.00	20.00	30.00	20.00	10.00	20.00	10.00	10.00	60.00	40.00	20.00	10.00	10.00	
2	2	2013	DHSCP10	51.94	40.00	60.00	30.00	40.00	10.00	10.00	20.00	10.00	10.00	60.00	40.00	20.00	30.00	80.00	
3	3	2014	DHSCP17	30.15	20.00	10.00	30.00	.00	10.00	10.00	30.00	30.00	10.00	60.00	80.00	30.00	10.00	20.00	
4	4	2013	DHSCP17	36.31	30.00	10.00	30.00	20.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	80.00	30.00	10.00	10.00	
5	5	2008	H0932	49.69	20.00	10.00	30.00	20.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	90.00	30.00	10.00	10.00	
6	6	2008	H0932	46.90	20.00	10.00	30.00	10.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	90.00	30.00	10.00	10.00	
7	7	2009	H0932	52.78	20.00	10.00	30.00	.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	90.00	30.00	10.00	10.00	
8	8	2013	H1110	43.60	20.00	10.00	30.00	.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	50.00	30.00	10.00	10.00	
9	9	2015	H1110	44.16	20.00	10.00	30.00	.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	50.00	20.00	10.00	10.00	
10	10	2013	INAMIH 1	49.06	20.00	10.00	30.00	.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	40.00	20.00	10.00	10.00	
11	11	2013	INAMIH 2	54.63	20.00	10.00	30.00	150.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	10.00	20.00	10.00	10.00	
12	12	2013	INAMIH 3	56.61	20.00	10.00	30.00	140.00	10.00	10.00	30.00	30.00	20.00	60.00	50.00	20.00	10.00	10.00	
13																			
14																			
15																			

Posteriormente se procede a construir el modelo con el supuesto de linealidad previamente establecido por la justificación del caso y se escogen la variable dependiente (ICA) y las

variables independientes a probar, en primera instancia incluiremos todas para poco a poco llegar a un mejor modelo ajustado descartando variables menos correlacionadas.

Ilustración 3 Pantalla SPSS para el ingreso de variables – construcción automática del modelo



5.8 Revisión del modelo – Primera evaluación

En primera instancia la prueba automática depurada del SPSS para el mejor modelo muestra un Coeficiente de regresión R^2 de 0.981 o 98,1% lo cual significa que las variables explicativas incluidas en el modelo final resultado, explican en un 98% el comportamiento en la tendencia del ICA como variable dependiente, lo cual es sin duda un parámetro bastante aceptable de bondad del modelo que promueve entonces su utilización para los fines explicativos que se pretende. Para este caso están consideradas las variables Caudal, pH del suelo, Materia orgánica, Humedad del suelo, Cobertura, Fertilidad, Uso del suelo, Profundidad efectiva, Pedregosidad.

Tabla 39 Variables biofísicas y geofísicas relevantes-primera evaluación

Resumen del modelo				
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
1	.991 ^a	.981	.932	2.35932

a. Variables predictoras: (Constante), Caudal, PH_suelo, Humedad_suelo, Cobertura, Fertilidad, Uso_suelo, Profundidad_ef

Al aplicar el modelo de regresión, el valor de r^2 es de 0.98, lo cual significa que es altamente explicativo, las variables biofísicas y geofísicas seleccionadas reproducen de una manera considerable la incidencia que tienen los factores geofísicos y biofísicos, sobre la calidad del agua, y se determina también las variables que por su menor aporte o nivel explicativo en relación al ICA. Ver tabla siguiente:

Tabla 40 Coeficientes del modelo de regresión y variables excluidas-primer evaluación

Coeficientes^a

Modelo		Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados	t	Sig.
		B	Error típ.	Beta		
1	(Constante)	-27,377	115,339		-.237	,828
	PH_suelo	,615	,894	,561	,688	,541
	Materia_org	1,024	,526	1,944	1,946	,147
	Fertilidad	-.771	,172	-1,295	-4,484	,021
	Pendiente	,434	,877	,775	,495	,655
	Cobertura	-2,028	1,410	-3,049	-1,439	,246
	Uso_suelo	1,601	1,650	2,922	,971	,403
	Pedregosidad	1,212	,959	,954	1,264	,296
	Caudal	-.786	,434	-1,350	-1,811	,168
^a . Variable dependiente: ICA						
Variables excluidas^b						
Modelo		Beta dentro	t	Sig.	Correlación parcial	
1	Profundidad_ef	.a	.	.	.	.
	Elementos_gr	.a	.	.	.	.
	Int_cationico	.a	.	.	.	.

A pesar de que el modelo mostrado tiene el más alto coeficiente de todas las corridas de prueba realizadas existe un inconveniente al evaluar el nivel de significancia de varias de las variables incluidas en el mismo como pH del suelo, materia orgánica, uso del suelo entre otras, lo cual indicaría que estas dos variables no resultan lo suficientemente explicativas de la variable dependiente por mostrar niveles significantes superiores al 5% o 0,05 p establecido por el nivel de confianza.

Una de las principales razones para que ocurra lo señalado es que existe redundancia entre las variables combinadas para la explicación, por ejemplo cobertura y uso del suelo

vendrían a estar en una misma línea explicativa, un criterio de incidencia similar que no aportaría aspectos explicativos por separado, en cuanto a los datos la autocorrelación es también alta.

En función de corregir los niveles de significancia de las variables explicativas se hicieron alrededor de 8 pruebas adicionales de combinaciones para obtener un modelo en el cual todas las variables tienen un nivel de significancia apropiado y por tanto sean explicativas en el modelo. El modelo finalmente escogido se presenta a continuación.

5.9 Análisis de resultados del modelo de regresión final escogido—Segunda evaluación

Para la obtención del modelo descrito a continuación se realizaron diferentes pruebas de combinaciones complementarias entre las diversas variables consideradas como explicativas, esto es considerando todas las 14 variables biofísicas con datos de mínima consistencia y linealidad, dentro del análisis se tomaron en cuenta puntos de control específicos para este análisis de caso referencial de la cuenca del Río Burgay. Dichas combinaciones consideran diferencias en cuanto a los parámetros usados, el número de éstos que se incluye en la ecuación final, y su incidencia individual conforme al análisis previo de relación lineal mutua. La integración de las combinaciones se da en función de los niveles de explicabilidad independiente de cada factor dentro del análisis correlacional, tomando en cuenta también consistencia y disponibilidad de los datos de forma proporcional, además de haber derivado en el análisis espacial sus niveles de concentración respecto del área del caso de estudio.

Luego del cálculo procesado por el paquete estadístico, obtenemos la tabla 28 “resumen del modelo” que señala el resultado de la prueba de bondad o confiabilidad del modelo ICA – Parámetros biofísicos

La segunda evaluación realizada en función de corregir el nivel de significancia tanto de la constante como de las variables cobertura y uso de suelo muestra un Coeficiente de regresión R^2 de 0.943 o 94,0% lo cual significa que las variables explicativas incluidas en el modelo final resultado, explican en un 94% el comportamiento en la tendencia del ICA como variable dependiente, lo cual es sin duda un parámetro bastante aceptable de bondad

del modelo que promueve entonces su utilización para los fines explicativos que se pretende.

Para ello se prescindió de algunas de las variables que registraban el valor más alto de p (sig) mediante la metodología de exclusión sucesiva hacia atrás, eliminando variables poco explicativas una a una individualmente en revisión de los niveles de significancia, entre las variables excluidas están PH del suelo, uso del suelo entre otras, lo que permitió que los niveles de significancia del resto de variable y de la constante mejoraran de manera general.

La inclusión de la variable cobertura es fundamental debido al objetivo de la investigación, el cual es localizar los pastizales y los cultivos de la microcuenca y analizar la influencia de este tipo de actividades en la calidad del agua. De igual manera, incide en el nivel de significancia cierta redundancia entre las variables cobertura y uso del suelo, por lo cual se realizó el cálculo del modelo nuevamente prescindiendo de una de ellas y el resultado obtenido es beneficioso.

Tabla 41 Resumen del Modelo de regresión

Resumen del modelo ^b					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.971 ^a	.943	.895	2,92618	2.929

a. Variables predictoras: (Constante), Cobertura, Fertilidad, Caudal, Materia_org, Pendiente

b. Variable dependiente: ICA

Una vez obtenido un R cuadrado relevante en la construcción de un modelo, podemos sustentar su idoneidad para usarlo como herramienta de inferencia estadística en función de explicar el comportamiento de la variable ICA.

Tabla 42 Coeficientes del modelo de regresión

Coeficientes^a

Modelo	Coeficientes no estandarizados		Coeficientes tipificados		t	Sig.	Correlaciones		
	B	Error típ.	Beta				Orden cero	Parcial	Semiparcial
1 (Constante)	105,034	7,749			13,555	,000			
Fertilidad	-,634	,080	-1,064		-7,902	,000	-,314	-,955	-,773
Cobertura	-,771	,121	-1,160		-6,356	,001	,073	-,933	-,622
Caudal	-,270	,074	-,463		-3,643	,011	,012	-,830	-,356
Materia_org	,441	,087	,837		5,079	,002	,257	,901	,497
Pendiente	-,606	,085	-1,082		-7,110	,000	-,446	-,945	-,696

Como se puede observar en el modelo final escogido los niveles de significancia de todas y cada una de las variables finalmente incluidas está dentro de lo esperado para denotar su explicabilidad, esto es menor de 0,05, por lo cual todas resultan de utilidad descriptiva.

De igual forma notamos que las correlaciones parciales de cada variable incluida respecto de la variable explicada es alta, en todas superior al 80%

A partir del cuadro resultado de parámetros y coeficientes integrados, la ecuación del modelo de regresión para estimación de valores ICA queda de la siguiente manera:

$$ICA = 105,034 + (Fertilidad) * -0,634 + Cobertura * -0,771 + Caudal * -0,270 + Materia Orgánica * 0,441 + Pendiente * -0,606$$

5.10 REVISIÓN DE ESTADÍSTICOS RESULTADO

5.10.1 Análisis de coeficientes

Los coeficientes resultados de la salida del modelo describen la dirección y cambio proporcional de la relación entre las variables explicativas y la variable dependiente así para cada parámetro explicativo en el modelo se tiene la siguiente descripción por coeficiente:

B de fertilidad: por cada unidad de magnitud ICA que varíe se esperaría según el coeficiente correspondiente que la fertilidad se reduzca en 0,6 unidades escalares, tomamos en cuenta que la determinación de escalares para esta y otras variables se dio de forma

inversa esto es los valores escalares más bajos 1,2 etc. fueron adjudicados a categorizaciones que mejor favorecen la calidad del agua esto es a menor escalar en fertilidad mayor ICA, existiendo así una relación proporcional inversa.

B de cobertura: por cada unidad de magnitud ICA que varíe se esperaría según el coeficiente correspondiente que la cobertura disminuya en 0,7 unidades escalares, existiendo así una relación proporcional inversa.

B de caudal: por cada unidad de magnitud ICA que varíe se esperaría según el coeficiente correspondiente que el caudal disminuya en 0,2 unidades escalares, existiendo así una relación proporcional inversa. El coeficiente negativo se debe a ciertos sesgos y precisión en los datos.

B de materia orgánica: Esta variable está correlacionada con la fertilidad, y en uno de los dos casos fue positiva la relación proporcional comparándola con el ICA, es decir por cada unidad de magnitud ICA que varíe, se espera que esta variable varíe su coeficiente aumentando en 0,4 unidades escalares.

B de pendiente: por cada unidad de magnitud ICA que varíe se esperaría según el coeficiente correspondiente a la pendiente se reduzca en 0,6 unidades escalares, tomamos en cuenta que la determinación de escalares para esta variable se dio de forma inversa. Es justificable ya que al existir mayor pendiente puede existir mayor probabilidad de deslizamientos, derrumbes, que depositan elementos en las fuentes hídricas, contaminándolas, a diferencia de zonas planas o sin pendiente, donde no existirán estos fenómenos y se contribuirá a la calidad del agua.

5.10.2 Nivel de significación -- ANOVA

El análisis ANOVA permite observar la relación lineal entre las variables en el modelo de regresión, al considerar la varianza, cuyos resultados son obtenidos a través del uso del programa estadístico SPSS. Cabe considerar el valor de F (denotado por el valor "Sig"). Si el valor de F es estadísticamente significativo en un nivel de 0,05 ó menos, esto sugiere una relación lineal entre las variables, este nivel es relevante para la mayoría de campos de investigación. La importancia estadística de un nivel 0,05 manifiesta que hay una

posibilidad del 95 por ciento de que la relación entre las variables no se deba a la casualidad.

En el caso de la mayoría de los valores P o significantes por cada variable explicativa son menores a 0.05, esto es debido a que el nivel de confianza estándar para este caso esperado es del 95%, de ahí a que el valor de significación referente sea del 5%. Las variables explicativas muestran niveles de significancia acorde a lo esperado y si guardan relación con la tendencia del ICA.

El análisis ANOVA del modelo total señala que las variables explicativas en su conjunto si son capaces de explicar el comportamiento de la variable explicada dado que el p de significancia es de 0,1% o de 0,001 p. lo cual remite a un alto nivel de confianza asociado al modelo.

Tabla 43 ANOVA

ANOVA ^b						
Modelo		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	843.036	5	168.607	19.691	.001 ^a
	Residual	51.375	6	8.563		
	Total	894.411	11			

a. Variables predictoras: (Constante), Cobertura, Fertilidad, Caudal, Materia orgánica, Pendiente

b. Variable dependiente: ICA

5.11 Nivel de confianza

La medida de confiabilidad (bondad) del modelo es usada para determinar qué tan bueno es éste, es decir en qué grado las variables explicativas de la ecuación, pueden dar en conjunto una explicación real del comportamiento de la variable dependiente, esto medido en porcentaje de ajuste de la tendencia de éstas, frente a la tendencia de la variable explicada que en este caso es el ICA. Ésta medida de confiabilidad se determina evaluando el Coeficiente de Regresión Ajustada (R² ajustado), en el cual valores igual o superiores a 75% son considerados satisfactorios (Acuña, 2011) lo cual significa que el comportamiento conjunto de las variables independientes llegarían a explicar hasta un 75% del comportamiento de la variable que queremos estudiar (ICA).

En el caso del modelo de regresión en análisis el nivel requerido de confiabilidad establecido es del 95% tomando en cuenta el supuesto de linealidad en la relación de las variables escalares y el ICA.

5.10.2 ANÁLISIS DURBIN WATSON

Para nuestro caso, El estadístico Durbin Watson indica que el valor obtenido es de 2,9 por lo que podemos identificar que existe cierto nivel de autocorrelación serial positiva, ya que este estadístico suele asumir que los residuos son independientes si oscila entre 1,5 y 2,5; razón por la que también fue descartada la variable uso de suelo que mostraba niveles de confianza menores. Tal vez, es claro que al disponer de variables biofísicas tomadas del contexto del área de estudio existen factores que promueven autocorrelación en los datos de las mismas, lo cual es muy difícil de separar, así asumimos que no existe independencia total entre las variables explicativas, siendo que un valor más deseable sería por ejemplo de un 2,5.

Tabla 44 Resumen del Modelo de regresión

Resumen del modelo ^b					
Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	.971 ^a	.943	.895	2.92618	2.929

a. Variables predictoras: (Constante), Cobertura, Fertilidad, Caudal, Materia orgánica, Pendiente

b. Variable dependiente: ICA

5.12 EJERCICIO DE COMPROBACIÓN-VALIDACIÓN

Con el fin de verificar la validez predictiva del modelo se realizó un breve ejercicio de comprobación usando los datos de las variables biofísicas según cada uno de los puntos analizados para incluirlos en la ecuación final resultado del modelo escogido, cada dato de los parámetro es multiplicado por su respectivo coeficiente (y su signo) y todos los productos al final son sumados a la constante para obtener el resultado de la ecuación.

El dato del ICA inicial obtenido con el procedimiento de determinación del ICA compuesto y el resultado del ICA producto de la ecuación del modelo son bastante similares, mostrando una variación de 1 a dos puntos en el resultado final lo cual esta explicado plenamente por el mayor o menor uso de decimales en los cálculos además de la

incidencia del error estándar para cada coeficiente, factores totalmente previsible justificando así una diferencia tolerable en el resultado de comprobación.

Así se determina que la ecuación del modelo es útil para predecir los datos del ICA usando parámetros biofísicos como alternativa a los datos tomados en campo de tipo físico-químico-bacteriológico.

Tabla 45 Ejercicio de comprobación ICA inicial y resultados del modelo de regresión

			Consta nte	Fertilid ad	Coeficie nte	Cobert ura	Coeficie nte	Cau dal	Coeficie nte	Materia Orgánica	Coeficie nte	Pendient e	Coeficie nte
PUNTO	ICA INICI AL	ICA MODE LO	105,03		-0,63		-0,77		-0,27		0,44		-0,61
DHSCP10	61,5	63,2	105,03	20,50	-0,63	49,21	-0,77	7,69	-0,27	61,51	0,44	26,36	-0,61
DHSCP10	49,0	48,6	105,03	20,50	-0,63	49,21	-0,77	61,51	-0,27	61,51	0,44	26,36	-0,61
DHSCP17	33,8	30,4	105,03	41,00	-0,63	32,80	-0,77	15,38	-0,27	41,00	0,44	61,51	-0,61
DHSCP17	27,8	32,5	105,03	41,00	-0,63	32,80	-0,77	7,69	-0,27	41,00	0,44	61,51	-0,61
H0932	47,3	46,7	105,03	61,51	-0,63	36,90	-0,77	7,69	-0,27	61,51	0,44	26,36	-0,61
H0932	44,4	46,7	105,03	61,51	-0,63	36,90	-0,77	7,69	-0,27	61,51	0,44	26,36	-0,61
H0932	50,2	46,7	105,03	61,51	-0,63	36,90	-0,77	7,69	-0,27	61,51	0,44	26,36	-0,61
H1110	42,4	43,6	105,03	41,00	-0,63	20,50	-0,77	7,69	-0,27	20,50	0,44	43,93	-0,61
H1110	42,2	43,6	105,03	41,00	-0,63	20,50	-0,77	7,69	-0,27	20,50	0,44	43,93	-0,61
INAMHI 1	47,4	45,1	105,03	41,00	-0,63	16,40	-0,77	7,69	-0,27	41,00	0,44	61,51	-0,61
INAMHI 2	52,6	54,6	105,03	41,00	-0,63	4,10	-0,77	7,69	-0,27	41,00	0,44	61,51	-0,61
INAMHI 3	54,3	51,2	105,03	20,50	-0,63	20,50	-0,77	7,69	-0,27	20,50	0,44	52,72	-0,61

Se ha obtenido un modelo final bastante aceptable que explica como el conjunto de variables explican en un 94,3% los cambios en el comportamiento de la variable dependiente ICA, con todas sus variables individualmente útiles en dicha explicación, presentando niveles de significancia adecuados, al igual que el modelo en su conjunto, por tanto la ecuación presentada sirve para ejecutar una herramienta de validación y estimación sustituta útil.

Sin embargo, se ha detectado ciertos inconvenientes con temas de redundancia, autocorrelación y relación secuencial de datos observados en campo que perjudican la total confianza del modelo, atado esto a la poca disponibilidad de puntos en la zona de estudio, con un total de 7 (solamente 12 observaciones); esto puede conllevar errores en la estimación ampliada hacia áreas con condiciones biofísicas, geomorfológicas diferenciadas. De igual manera la discrecionabilidad necesaria para la determinación de los escalares aun cuando está basada en justificaciones y referencias bibliográficas de estudios similares y datos oficiales, puede no ser precisa en ciertas circunstancias del entorno, dado

que la incidencia de parámetros biofísicos está atada a una multiplicidad de factores conexos, de ahí a que sea necesario la disponibilidad en lo posible de datos sobre parámetros más específicamente localizados (atados a cada uno de los puntos en cuestión) para restar incertidumbre relacionada a dicha discrecionabilidad en los escalares.

El ejercicio del modelo como método de comprobación es plenamente válido estando atado a las condiciones y supuestos particulares sobre los cuales se construye, y como está dicho tendrá que tomarse con cuidado al momento de llevarlo a una aplicación ampliada bajo las mismas características de supuesto, es decir la herramienta metodológica ha mostrado su validez en tanto ejercicio de comprobación y su aplicabilidad como herramienta predictiva, inferística y de alcance ampliado a otras zonas deberá considerar elementos de ajuste necesariamente en función de reducir incertidumbres y aspectos señalados anteriormente.

CAPITULO VI

6 CONCLUSIONES

El resultado del análisis de correlaciones entre los parámetros físico-químicos y microbiológicos con el ICA calculado nos muestran de forma clara, que existen algunos de ellos con mayor peso descriptivo que otros y por tanto determinantes en cuanto a su incidencia, este es el caso del parámetro coliformes fecales el cual podemos inferir que vincula de forma directa la acción de actividades antrópicas directas como el inadecuado saneamiento de aguas residuales de centros poblados y la actividad ganadera en concreto respecto del manejo del estiércol, con una alta vulnerabilidad del agua, siendo éste justamente uno de los elementos que afectan en una mayor y más amplia medida el estado de las fuentes dentro de la microcuenca analizada, factor a tomar en cuenta para acciones correctivas de administración y ordenamiento territorial.

Estos resultados del ICA con categorías bajas y regulares presentadas en la mayor parte de las observaciones de los puntos de monitoreo, dan indicios de que el río Burgay ha recibido la influencia de las actividades agropecuarias, y también de las descargas de las zonas urbanas, principalmente de las localidades de Biblian, Azogues, Nazón, Guapan, Javier Loyola. Es así que aunque las actividades agropecuarias que se desarrollan en el territorio han ocasionado buena parte de la contaminación de los recursos hídricos, de la otra parte son responsables los conglomerados urbanos que vierten sus aguas servidas directamente en los ríos; a esto se suma el no contar con un sistema de tratamiento de aguas residuales apropiado en la microcuenca, lo cual también ha ocasionado un agravante afectando la calidad del recurso.

El resultado del ICA resumen señala una alta vulnerabilidad de la calidad del agua para la microcuenca del río Burgay, con lo cual es esperable que la calidad del agua en las fuentes sea mala especialmente para condiciones de consumo humano e incluso para actividades de riego agrícola y abrevadero, situación que se evidencia de igual forma en una revisión interanual del dato, que señala que a medida que se incrementan las actividades productivas y demográficas ese indicador también tiende a bajar. El aumento de la

intervención productiva y de afectación a los elementos biofísicos y geológicos incide de manera evidente en la afectación del recurso de una forma directamente proporcional.

El modelo de regresión que relaciona parámetros biofísicos y geofísicos y el resultado del ICA nos permite concluir que dichos elementos aun cuando puedan o no tener incidencia directa en el estado final de la calidad del agua (bueno o malo) si inciden en una mayor o menor vulnerabilidad o propensión a dicha afectación, los resultados de una alta correlación explicativa en cuanto a la combinación de un grupo específico de éstos parámetros ayuda a establecer que la geomorfología de la zona en estudio es un aspecto que potencializa la afectación, al igual que la acción principalmente sobre la cobertura y uso del suelo que inciden sobre dicho aspecto.

Aunque existen patrones fuertes en la microcuenca del río Burgay en cuanto a la concentración/cercanía de puntos bajo una misma valoración de calidad o resultado de ICA, la misma naturaleza del análisis basada en considerar aspectos diferenciadores, específicos, atados a cada realidad de territorio, exige su tratamiento particularizado en subunidades de territorio identificadas con actividades productivas específicas como los cultivos de ciclo corto, pastizales e incluso canteras, los cuales fueron diagnosticados como procesos de afectación multiplicadora o exponencial que expone los territorios adjuntos a estas actividades de una mayor forma, es decir se evidencia niveles de afectación localizados que no son constantes a toda el área de estudio como unidad.

El ICA constituye un indicador referencial e insumo fuerte en actividades de diagnóstico, planificación y análisis como esta dicho a manera de herramienta ex ante, pero en función de los resultados obtenidos también se prevé que su utilidad pueda abarcar aspectos de evaluación, diferenciación y predicción sobre datos ex post dirigidos a un mejor ordenamiento territorial, incluso contando con resultados más certeros de esa forma, así las medidas de cuidado e intervención en relación a asegurar niveles menores de vulnerabilidad en la calidad del agua.

Factores como un mayor caudal en las fuentes, niveles considerables de pedregosidad, usos del suelo moderados, coberturas vegetales abundantes y propicias para un ciclo más dinámico de renovación del recurso, entre otros, confirman la alta correlación de estas variables con la vulnerabilidad y la calidad del agua, sin embargo también se evidencia que

estos factores por sí solos no son suficientes para explicar la totalidad de la tendencia, sobre todo con la existencia de actividades de intervención humana directa.

En base al análisis se evidencia que es fundamental separar también a más de un diagnóstico a nivel territorial, un diagnóstico de tipo situacional basado en escenarios de condiciones geomorfológicas y biofísicas, dado que en el caso de la cuenca del río Burgay las condiciones del entorno son dinámicas al ser una zona de alta variabilidad de épocas lluviosas, secas e igualmente una climatología diversa que como se ha señalado anteriormente, lo cual incide de forma directa, bajo el sustento conclusivo de alta correlación de parámetros vs ICA, en las condiciones propicias para una mayor o menor vulnerabilidad del recurso hídrico, así los resultados de calidad pueden tener cierta variabilidad en torno a los mencionados escenarios.

En base al análisis conclusivo y la conjunción de todos los factores antes citados podemos determinar que habiéndose identificado los parámetros geomorfológicos y biofísicos como asociados en mayor medida a la actividad agropecuaria, y existiendo una presencia diversificada de la misma en torno a todo el territorio de la cuenca de estudio, su influencia es determinante de una manera más marcada incluso que otras actividades antrópicas y de uso del suelo, para una mayor vulnerabilidad de la calidad del recurso hídrico, la expansión de esta actividad tanto en intensificación de cultivos de ciclo corto, el uso de fertilizantes para su mantenimiento, los cambios de uso del suelo registrados en la reducción de páramos y también la desordenada actividad ganadera, son factores que crean un entorno de afectación expandible que tiende a incrementarse de forma progresiva así como también a reducirse la calidad del recurso. Conociendo que las zonas que presentan índices de calidad del agua regulares y malos están también vinculadas a cuencas bajas, curvas de nivel de baja altitud puede preverse que un mayor conocimiento de factores biofísicos complementarios ayudaría a reducir los niveles de incidencia de la actividad humana y de la misma forma esto puede usarse en la administración de las autorizaciones para usos y aprovechamientos del agua en un futuro.

En cuanto a la asociación con la cobertura de tierra, es necesario poner especial atención a los usos que se les está dando a los pastizales, ya que al parecer se identifican indicios de incidencia negativa de la actividad pecuaria que en ellos se puede estar realizando, asociando esto con el hallazgo de las correlaciones que muestra que el parámetro de

coliformes fecales es uno de los que más ayuda a explicar el comportamiento diferencial de los resultados del ICA en los diferentes puntos de monitoreo.

Finalmente, el uso del presente modelo de inferencia en la calidad del agua para la planificación y ordenamiento territorial, se constituiría como un instrumento de apoyo en los procesos de gestión y cultura ambiental, promoviendo el desarrollo sostenible. Además, el análisis territorial a nivel de microcuenca, permite considerar los aspectos importantes que caracterizan el territorio. Mediante una planificación adecuada, y el ordenamiento de las actividades que se desenvuelven en estas unidades hidrográficas, se podrán realizar propuestas que contribuyan al desarrollo y conservación del territorio. A la vez, se pueden proponer actividades productivas alternativas para la población que habita en la microcuenca del río Burgay, lo cual contribuiría directamente en la regulación y calidad de los cuerpos de agua, la conservación del suelo, de los paisajes naturales y los hábitats de la fauna y la flora silvestre, mejorando la calidad de vida de la población, al asegurar el aprovisionamiento del líquido vital de manera constante, pensando en las futuras generaciones, satisfaciendo la demanda del recurso hídrico en calidad y cantidad.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Acuña, E. (2011). *Análisis de regresión*. Mayaguez, Puerto Rico: Departamento de matemáticas. Universidad de Puerto Rico.
- Agencia de Regulación y Control del Agua. (2016). *Regulación DIR-ARCA-RG-001-2016*.
- Agüero, M., & Claverí, M. (2007). A Model for Evaluating the Socioeconomic Performance of Alternative Management Policies in Coastal Zones: Application to Patos Lagoon (Brazil) and the Júcar River Estuary (Spain). *Journal of Coastal Research*, 145-152.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2014). *Ley Orgánica de Recursos Hídricos, Usos y Aprovechamiento del Agua*. Quito, Pichincha, Ecuador.
- Asamblea Nacional de la República del Ecuador. (2015). *Código Orgánico de Ordenamiento Territorial*. Quito.
- Barling, R., & Moore, I. (1994). *Environmental management: Role of buffer strips in management of waterway pollution*. New York, U.S.
- Brooks, K., & Gregersen, H. (1991). *Hydrology and the management of watershed*. Iowa, USA.
- C. A. (2009). *Soberanía alimentaria y Sistema Alimentario*. Obtenido de http://www.comesano.org.ec/documentos/documentos/soberania%20alimentaria/soberaniaalimentariaysistemaalimentario_lobal.pdf
- Calvo, J. (2013). *Modelo de predicción de la calidad del agua en ríos basado en índices e indicadores del recurso hídrico y el entorno socio ambiental*. San José, Costa Rica: Universidad Estatal a Distancia.
- Cattaneo, M., & Sardi, E. (2013). *Evolución de la calidad del agua de la cuenca Matanza-riachuelo*.
- Cattaneo, M.P.; López, E.M. (2006). *Evolución de la calidad del agua de la cuenca Matanza-Riachuelo*.
- Clements, R., & Haggard, J. (2011). *Technologies for Climate Change Adaptation- Agriculture*. (R. C. UNEP, Ed.) Dinamarca.

COLECTIVO AGROECOLÓGICO (2009): Soberanía alimentaria y Sistema

Alimentario. Rev. 10.01.2018. En: http://www.comesano.org.ec/documentos/documentos/soberania%20alimentaria/soberaniaalimentariaysistemaalimentario_lobal.pdf

Dirección General de Aguas, Ministerio de Obras Públicas. (2003). *Diagnóstico y clasificación de los cursos y cuerpos de agua según objetivos de calidad*. Santiago de Chile, Chile.

FAO. (1993). *Water quality assessment to determine the nature and extent of water pollution by agriculture and related activities*. Roma.

FAOSTAT. (2014). Toneladas de consumo de fertilizantes químicos nitrogenados en Ecuador.

Fernández, E. (2010). *Metodologías para la evaluación y mejora del impacto ambiental de los sistemas ganaderos: análisis comparado y posibilidades de aplicación en el sector de los pequeños rumiantes de Andalucía*. Andalucía.

Goldman, S. (1986). *Erosion and sediment control handbook*. McGraw-Hill.

González, A. (2015). *La Universidad Renovada*. Arequipa, Perú: UNSA.

Gonzalez, J. (2006). *Biodiversidad Agrícola y Erosión Genética*. Andalucía.

Hooda, P. E. (2000). *A review of water quality concerns in livestock farming areas. The science of the total environment*.

Hooda, P., Edwards, A., Anderson, H., & Miller, A. (2000). *A review of water quality concerns in livestock farming areas. The science of the total environment*.

Huttel, C., Zebrowski, C., & Gondard, P. (1999). *Paisajes Agrarios del Ecuador*.

INEC. (2014). *Encuesta Continua de producción agropecuaria*.

Instituto Espacial Ecuatoriano. (2015). *Metodología para el proyecto de Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, Componente Clima, Hidrología y Amenazas Hidrometeorológicas*. Ecuador.

Instituto Espacial Ecuatoriano; Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca; Sistema de Información Nacional de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. (2012).

Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional Escala 1:25.000. Geopedología. Cantón Sucre Sur.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. (2010). Recuperado el 03 de 06 de 2017, de <http://www.inec.gov.ec>

Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología. (2009). *Anuarios Meteorológicos.*

IPCC. (2006). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.*

Jiménez, M., & Vélez, M. (2007). Análisis comparativo de indicadores de la calidad del agua superficial. *Revista Avances en recursos hidraulicos, 14*, 53-69.

K, B. (1991).

Lemly, A. (1982). *Modification of benthic insect communities in polluted streams: combined effects of sedimentation and nutrient enrichment.*

León, L. (1992). *Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.*

Lobos, J. (2002). *Evaluación de los contaminantes del embalse del cerrón Grande.*

Lucero, E. R. (25 de julio de 2018). Consultor especialista INGEI del programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo vinculado a estudios sobre el cambio climático. (I. M. Boada, Entrevistador)

Mejía, E. (2005). *El proceso lluvia-escurrimiento-erosión en laderas y microcuencas instrumentadas Tecnologías y Ciencias del Agua.* Morelos, México: Instituto Mexicano de Tecnología del Agua .

Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2013). Recuperado el 01 de 06 de 2017, de <http://geoportal.magap.gob.ec/descargar.htm>

Ministerio del Ambiente. (2015). Texto Unificado de Legislación Secundaria 097-A. En M. d. Ambiente. Quito, Pichincha, Ecuador.

MITCHELL, A., ELLSWORTH, T., & MEEK, D. (16,17 de December de 1991). Plant Root systems effects on preferential flow in swelling. *Gish, T.J., A. Shirmohammadi, 376-382.*

- Montoya, H., Contreras, C., & García, V. (1997). *Estudio Integral de Calidad del Agua en el estado de Jalisco, Guadalajara*. Comisión Nacional del Agua.
- Municipio del Cantón Biblián. (2014). *Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial*.
- Nasirian, M. (2013). A new water quality index for environmental contamination contributed by mineral processing: a case study of amang (tin tailing) processing activity. *Journal of applied sciences*, 7(20), 2977-2987.
- Ongley, E. (1997). *Lucha contra la contaminación agrícola de los recursos hídricos*. Burlington, Canadá.
- Orea, D. (2008). *Plan de Ordenamiento Territorial*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. (2009). *Guía para la Descripción de Suelos* (1era ed. ed.). (R. Vargas, Trad.) Roma, Italia.
- Organización Mundial para la Salud. (1993). Consideraciones sobre el programa medio Ambiente y salud en el Istmo Centroamericano San José. San José, Costa Rica.
- Peñaloza, & Chávez. (2012). *Directrices del IPCC para los inventarios nacionales de gases de efecto invernadero*.
- Pesce, S., & Wunderlin, D. (2000). Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suqúya River. *Water Research*, 34 (11):2915-2926.
- Pourrut, P. (1995). *El Agua en el Ecuador*.
- Rickert, D. (20-23 de Octubre de 1993). Water quality assessment to determine the nature and extent of water pollution by agriculture and related activities. *Prevention of Water Pollution by agriculture and related activities*.
- Secretaría Nacional del Agua . (2017). *Banco Nacional de Autorizaciones*.
- Secretaría Nacional del Agua. (2009). *Delimitación y codificación de unidades hidrográficas del Ecuador, Escala 1:250000, Nivel 5, Metodología pfafstetter*. Quito, Pichincha, Ecuador.

SENAGUA. (2015). *Registros de puntos de monitoreo de parámetros de calidad del agua 2013, 2014 y, 2015.*

Sing, H. (1989). *Hydrologic Systems Vol II watershed modeling.* Prentice Hall, New Jersey.

Sistema Nacional de Información de Tierras Rurales. (2015). *Metodología para el proyecto de Generación de Geoinformación para la Gestión del Territorio a Nivel Nacional, Geopedología.*

Vidal, M., López, A., & Santoalla, M. (2000). *Factor analyses for the water resources contamination due to the use the livestock slurries as fertilizers Agricultural water management.*

Wagner. (1996). *Contaminación causas y efectos.* México D.F.: Ediciones Garnika.

ANEXOS

1. DATOS BASE PARA EL CÁLCULO

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	DEMARCA	CUENCA	Coliformes	pH	Demanda_Bi	Nitratos	Turbiedad	Sólidos_d	Fosfatos	temperatura ambiente	oxígeno disuelto	Amonio NH4 (mg/l)
2014	DHSCP10	737058	9702473	burgay	Cuenca Rio Burgay	30	7,90	1,00	0,28	97	35	0,200	14	101,2	0,009
2013	DHSCP10	737058	9702473	burgay	Cuenca Rio Burgay	30	8,00	1,00	0,22	4	48	0,200	14,00	100	54
2013	DHSCP17	736140	9687505	burgay	Cuenca Rio Burgay	46000	8,08	4,00	9,8	486	351	0,200	14	98,3	157
2014	DHSCP17	736140	9687505	burgay	Cuenca Rio Burgay	110000	7,80	4,00	3,5	103	170	0,200	14	6,48	0,65
2013	H0932	736414	9687902	burgay	Cuenca Rio Burgay	30	7,62	1,00	0,75	79,8	4,9	0,27	18,2	54,6	0,75
2014	H0932	736414	9687902	burgay	Cuenca Rio Burgay	30	7,82	1,00	1,33	158	5,1	0,72	20,3	100	1,33
2014	H0932	736414	9687902	burgay	Cuenca Rio Burgay	30	8,04	1,00	0,45	138	5,2	0,2	13	100	0,45
2013	H1110	735982	9687995	burgay	Cuenca Rio Burgay	200	7,6	7,35	0,59	63,4	180	0,5	16,4	89,2	0,59
2014	H1110	735982	9687995	burgay	Cuenca Rio Burgay	400000	7,81	10,32	0,27	219,4	88	0,019	19,3	80,9	0,27
2013	INAMHI 1	739398	9694723	burgay	Cuenca Rio Burgay	9200	8,03	7,5	0,62	15,2	243,9	0,274	13,7	103,9	0,62
2013	INAMHI 2	736298	9686317	burgay	Cuenca Rio Burgay	460	8,06	9,5	0,897	19,9	298,9	0,136	17	132,5	0,62
2013	INAMHI 3	731418	9690606	burgay	Cuenca Rio Burgay	490	8,25	5	0,2	24,1	159,1	0,343	18,8	135,9	0,27

2. NORMALIZACION Y PONDERACIÓN DE COLIFORMES

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	Coliformes	resultado parcial A	CF normalizado	PARAMETRO PONDERADO
2014	DHSCP10	737058	9702473	30	95,84	95,84	13,31
2013	DHSCP10	737058	9702473	30	95,84	95,84	13,31
2013	DHSCP17	736140	9687505	46000	1273,10	0,00	0,00
2014	DHSCP17	736140	9687505	110000	9809,42	0,00	0,00
2013	H0932	736414	9687902	30	95,84	95,84	13,31
2014	H0932	736414	9687902	30	95,84	95,84	13,31
2014	H0932	736414	9687902	30	95,84	95,84	13,31
2013	H1110	735982	9687995	200	92,56	92,56	12,86
2014	H1110	735982	9687995	400000	149096,42	0,00	0,00
2013	INAMHI 1	739398	9694723	9200	-0,03	0,00	0,00
2013	INAMHI 2	736298	9686317	460	87,66	87,66	12,17
2013	INAMHI 3	731418	9690606	490	87,10	87,10	12,10

3. NORMALIZACION Y PONDERACION DE PH DEL AGUA

													PESO Wi
													0,10888889
													100
AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	ma yor	men or	1 intervalo	calculo 1.1	2 interva lo	calculo 1.2	3 intervalo	PH normalizad o	PARAMET RO PONDERA DO	
2014	DHSCP10	737058	9702473	0	0	0,000	0,04320596	100,000	100	0,000	105,32	100,000	10,889
2013	DHSCP10	737058	9702473	0	0	0,000	0,04101666	0,000	100	100,000	100,00	100,000	10,889
2013	DHSCP17	736140	9687505	0	0	0,000	0,03934537	0,000	100	95,935	95,93	95,935	10,446
2014	DHSCP17	736140	9687505	0	0	0,000	0,04551211	100,000	100	0,000	110,93	100,000	10,889
2013	H0932	736414	9687902	0	0	0,000	0,04997777	100,000	100	0,000	121,79	100,000	10,889
2014	H0932	736414	9687902	0	0	0,000	0,04504123	100,000	100	0,000	109,79	100,000	10,889
2014	H0932	736414	9687902	0	0	0,000	0,04017233	0,000	100	97,946	97,95	97,946	10,665
2013	H1110	735982	9687995	0	0	0,000	0,05050025	100,000	100	0,000	123,06	100,000	10,889
2014	H1110	735982	9687995	0	0	0,000	0,04527606	100,000	100	0,000	110,36	100,000	10,889
2013	INAMHI 1	739398	9694723	0	0	0,000	0,04038177	0,000	100	98,456	98,46	98,456	10,721
2013	INAMHI 2	736298	9686317	0	0	0,000	0,0397567	0,000	100	96,935	96,94	96,935	10,555
2013	INAMHI 3	731418	9690606	0	0	0,000	0,03601654	0,000	100	87,836	87,84	87,836	9,564

4. NORMALIZACION Y PONDERACION DE DBO DEL AGUA

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	DBO normalizado	DBO PONDERADO
2014	DHSCP10	737058	9702473	96,348	8,564
2013	DHSCP10	737058	9702473	96,348	8,564
2013	DHSCP17	736140	9687505	71,797	6,382
2014	DHSCP17	736140	9687505	71,797	6,382
2013	H0932	736414	9687902	96,348	8,564
2014	H0932	736414	9687902	96,348	8,564
2014	H0932	736414	9687902	96,348	8,564
2013	H1110	735982	9687995	47,084	4,185
2014	H1110	735982	9687995	33,079	2,940
2013	INAMHI 1	739398	9694723	46,213	4,108
2013	INAMHI 2	736298	9686317	36,328	3,229
2013	INAMHI 3	731418	9690606	63,400	5,636

5. NORMALIZACION Y PONDERACION DE NITRATOS

							PESO Wi
							0,13888889
AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	Nitratos mayor	calculo nitrato	NITRATOS PONDERADO	
2014	DHSCP10	737058	9702473	99,221	99,221	13,781	
2013	DHSCP10	737058	9702473	99,265	99,265	13,787	
2013	DHSCP17	736140	9687505	92,149	92,149	12,798	
2014	DHSCP17	736140	9687505	96,829	96,829	13,448	
2013	H0932	736414	9687902	98,871	98,871	13,732	
2014	H0932	736414	9687902	98,441	98,441	13,672	
2014	H0932	736414	9687902	99,094	99,094	13,763	
2013	H1110	735982	9687995	98,990	98,990	13,749	
2014	H1110	735982	9687995	99,228	99,228	13,782	
2013	INAMHI 1	739398	9694723	98,968	98,968	13,746	
2013	INAMHI 2	736298	9686317	98,762	98,762	13,717	
2013	INAMHI 3	731418	9690606	99,280	99,280	13,789	

6. NORMALIZACION Y PONDERACION DE TURBIEDAD

PESO Wi

0,08888889

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	turbiedad normalizado	calculo turbiedad	TURBIEDAD PONDERADO
2014	DHSCP10	737058	9702473	80,323	80,323	7,140
2013	DHSCP10	737058	9702473	96,762	96,762	8,601
2013	DHSCP17	736140	9687505	0,000	28,100	0,000
2014	DHSCP17	736140	9687505	0,000	79,315	0,000
2013	H0932	736414	9687902	83,248	83,248	7,400
2014	H0932	736414	9687902	0,000	70,369	0,000
2014	H0932	736414	9687902	0,000	73,560	0,000
2013	H1110	735982	9687995	86,086	86,086	7,652
2014	H1110	735982	9687995	0,000	61,012	0,000
2013	INAMHI 1	739398	9694723	94,701	94,701	8,418
2013	INAMHI 2	736298	9686317	93,843	93,843	8,342
2013	INAMHI 3	731418	9690606	93,079	93,079	8,274

7. NORMALIZACION Y PONDERACION DE SOLIDOS DISUELTOS

PESO Wi

0,08888889

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	solidos normalizados	calculo de solidos	SOLIDOS PONDERADO
2014	DHSCP10	737058	9702473	70,265	70,265	6,246
2013	DHSCP10	737058	9702473	62,372	62,372	5,544
2013	DHSCP17	736140	9687505	15,284	15,284	1,359
2014	DHSCP17	736140	9687505	28,782	28,782	2,558
2013	H0932	736414	9687902	95,890	95,890	8,524
2014	H0932	736414	9687902	95,689	95,689	8,506
2014	H0932	736414	9687902	95,588	95,588	8,497
2013	H1110	735982	9687995	27,495	27,495	2,444
2014	H1110	735982	9687995	45,704	45,704	4,063
2013	INAMHI 1	739398	9694723	21,282	21,282	1,892
2013	INAMHI 2	736298	9686317	17,743	17,743	1,577
2013	INAMHI 3	731418	9690606	30,308	30,308	2,694

8. NORMALIZACION Y PONDERACION DE FOSFATOS

PESO Wi

0,07888889

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	fosfatos normalizado	FOSFATOS PONDERADOS
2014	DHSCP10	737058	9702473	87,681	6,917
2013	DHSCP10	737058	9702473	87,681	6,917
2013	DHSCP17	736140	9687505	87,681	6,917
2014	DHSCP17	736140	9687505	87,681	6,917
2013	H0932	736414	9687902	84,448	6,662
2014	H0932	736414	9687902	67,594	5,332
2014	H0932	736414	9687902	87,681	6,917
2013	H1110	735982	9687995	75,084	5,923
2014	H1110	735982	9687995	97,056	7,657
2013	INAMHI 1	739398	9694723	84,269	6,648
2013	INAMHI 2	736298	9686317	90,818	7,165
2013	INAMHI 3	731418	9690606	81,279	6,412

9. NORMALIZACION Y PONDERACION DE TEMPERATURA

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	TEMPERATURA	
2014	DHSCP10	737058	9702473	10,781	10,781
2013	DHSCP10	737058	9702473	10,781	10,781
2013	DHSCP17	736140	9687505	10,781	10,781
2014	DHSCP17	736140	9687505	10,781	10,781
2013	H0932	736414	9687902	0,000	17,220
2014	H0932	736414	9687902	0,000	25,883
2014	H0932	736414	9687902	11,388	11,388
2013	H1110	735982	9687995	0,000	12,684
2014	H1110	735982	9687995	0,000	21,305
2013	INAMHI 1	739398	9694723	10,877	10,877
2013	INAMHI 2	736298	9686317	0,000	13,900
2013	INAMHI 3	731418	9690606	0,000	19,325

10. NORMALIZACION Y PONDERACION DE OXÍGENO DISUELTO

PESO WI

0,138888889

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	Oxigeno disuelto	Oxigeno disuelto ponderado
2014	DHSCP10	737058	9702473	97,081	13,483
2013	DHSCP10	737058	9702473	97,081	13,483
2013	DHSCP17	736140	9687505	97,081	13,483
2014	DHSCP17	736140	9687505	0,002	0,000
2008	H0932	736414	9687902	97,081	13,483
2008	H0932	736414	9687902	97,081	13,483
2009	H0932	736414	9687902	97,081	13,483
2013	H1110	735982	9687995	97,081	13,483
2015	H1110	735982	9687995	97,081	13,483
2013	INAMHI 1	739398	9694723	97,081	13,483
2013	INAMHI 2	736298	9686317	97,081	13,483
2013	INAMHI 3	731418	9690606	97,081	13,483

11. NORMALIZACION Y PONDERACION DE AMONIO

PESO WI

0,128888889

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	Amonio Normalizado	Amonio Ponderado
2014	DHSCP10	737058	9702473	98,942	12,753
2013	DHSCP10	737058	9702473	0,002	0,000
2013	DHSCP17	736140	9687505	0,000	0,000
2014	DHSCP17	736140	9687505	80,472	10,372
2013	H0932	736414	9687902	78,037	10,058
2014	H0932	736414	9687902	65,737	8,473
2014	H0932	736414	9687902	85,670	11,042
2013	H1110	735982	9687995	81,984	10,567
2014	H1110	735982	9687995	90,761	11,698
2013	INAMHI 1	739398	9694723	81,223	10,469
2013	INAMHI 2	736298	9686317	81,223	10,469
2013	INAMHI 3	731418	9690606	90,761	11,698

12. RESULTADO DE SUMATORIA Y CALCULO DE ICAS

AÑO	CÓDIGO_DE	X	Y	ICA LINEAL SIN TEMP	ICA LINEAL	ICA MODIFICADO	ICA EXPONENCIAL	ICA RAIZ	(2) ICA LINEAL
2014	DHSCP10	737058	9702473	79,30	72,437	64,779	46,277	29,60270309	60,699
2013	DHSCP10	737058	9702473	67,31	71,753	63,562	31,228	28,06679459	48,194
2013	DHSCP17	736140	9687505	38,59	46,099	26,237	14,863	22,2807513	32,598
2014	DHSCP17	736140	9687505	37,12	34,966	15,094	22,658	26,38928538	43,741
2013	H0932	736414	9687902	78,89	47,370	27,703	30,440	28,24638823	50,555
2014	H0932	736414	9687902	68,56	46,174	26,321	27,252	28,01443369	47,883
2014	H0932	736414	9687902	72,48	47,572	27,939	44,484	29,55041136	60,926
2013	H1110	735982	9687995	68,00	36,876	16,788	32,086	26,91842401	51,880
2014	H1110	735982	9687995	50,73	26,717	8,812	38,201	48,10948552	55,508
2013	INAMHI 1	739398	9694723	55,74	52,217	33,662	29,195	39,30520319	47,555
2013	INAMHI 2	736298	9686317	66,99	51,900	33,255	33,889	34,6350627	60,039
2013	INAMHI 3	731418	9690606	69,86	53,360	35,152	26,457	46,12242576	55,084

13. RESULTADO DE SUMATORIA Y CALCULO DE ICAS

AÑO	CÓDIGO DE	X	Y	ICA no temp	ICA lineal (1)	ICA lineal (2)	ICA modificado	ICA expo	ICA raiz	ICA no temp	ICA lineal (1)	ICA lineal (2)	ICA modificado	ICA expo	ICA raiz
2014	DHSCP10	737058	9702473	79,303	72,437	60,699	64,779	62,219	29,603	bueno	bueno	regular	regular	regular	mala
2013	DHSCP10	737058	9702473	67,310	71,753	48,194	63,562	15,322	28,067	regular	bueno	mala	regular	pesima	mala
2013	DHSCP17	736140	9687505	38,587	46,099	32,598	26,237	0,891	22,281	mala	mala	mala	mala	pesima	pesima
2014	DHSCP17	736140	9687505	37,118	34,966	43,741	15,094	45,631	26,389	mala	mala	mala	pesima	mala	mala
2013	H0932	736414	9687902	78,891	47,370	50,555	27,703	51,238	28,246	bueno	mala	regular	mala	regular	mala
2014	H0932	736414	9687902	68,558	46,174	47,883	26,321	49,297	28,014	regular	mala	mala	mala	mala	mala
2014	H0932	736414	9687902	72,479	47,572	60,926	27,939	62,446	29,550	bueno	mala	regular	mala	regular	mala
2013	H1110	735982	9687995	67,999	36,876	51,880	16,788	53,721	26,918	regular	mala	regular	pesima	regular	mala
2014	H1110	735982	9687995	50,730	26,717	55,508	8,812	63,505	48,109	regular	mala	regular	pesima	regular	mala
2013	INAMHI1	739398	9694723	55,738	52,217	47,555	33,662	55,830	39,305	regular	regular	mala	mala	regular	mala
2013	INAMHI2	736298	9686317	66,995	51,900	60,039	33,255	68,966	34,635	regular	regular	regular	mala	regular	mala
2013	INAMHI3	731418	9690606	69,859	53,360	55,084	35,152	66,506	46,122	regular	regular	regular	mala	regular	mala

14. DATOS DE PARAMETROS BIOFISICOS EJEMPLO

AÑO	CÓDIG O_ DE	X	Y	pef_d esc	eg_d esc	tox_d esc	pH_d esc	rhs_d esc	mos_ desc	ci1_d esc	sab_d esc	fet_desc	inu_d esc	ise_d esc	d_p edi ent	cobertura	sistema dep	tamanoparc	riego	uso	ped_ desc	te mp	sal_ des c	ha
2014	DH SCP 10	737058	97024 73	11.- 20	6,-15	0,5- 1,5	6,0- 6,5	UDIC O	<3	5-10	<35	baja	0-1	media	5,- 12	pasto cultivado	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	pecuario	0	14	<2	<5
2013	DH SCP 10	737058	97024 73	51- 100	0	0	5,5- 6,0	USTIC O	<3	5-10	<35	baja	0-1	media	5,- 12	pasto cultivado	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	pecuario	10,- 25	14	<2	<5
2013	DH SCP 17	736140	96875 05	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	baja	0-1	media	5,- 12	maiz	mercant il	parcelas pequeñas	con riego	agricola	0	14	<2	<5
2014	DH SCP 17	736140	96875 05	21-50	41-80	0	6,5- 7,5	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	maiz	mercant il	parcelas pequeñas	con riego	agricola	0	14	<2	<5
2013	H0 932	736414	96879 02	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	maiz	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	agricola	0	14	<2	<5
2014	H0 932	736414	96879 02	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	maiz	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	agricola	0	14	<2	<5
2014	H0 932	736414	96879 02	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	maiz	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	agricola	0	14	<2	<5
2013	H1 110	735982	96879 95	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	maiz	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	agricola	0	14	<2	<5
2014	H1 110	735982	96879 95	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	pasto cultivado	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	pecuario	0	14	<2	<5
2013	INA MH l 1	739398	96947 23	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	pasto cultivado	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	pecuario	0	14	<2	<5
2013	INA MH l 2	736298	96863 17	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	pasto cultivado	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	pecuario	0	14	<2	<5
2013	INA MH l 3	731418	96906 06	11.- 20	41-80	0	7,5- 8,0	USTIC O	<3	21-30	>50	modera da	0-1	media	5,- 12	pasto cultivado	mercant il	parcelas pequeñas	sin riego	pecuario	0	14	<2	<5

15. ESCALARES BIOFISICOS TRANSFORMADOS

ICA	pef_de sc	eg_de sc	tox_de sc	pH_de sc	rhs_de sc	mos_de sc	ci1_de sc	sab_de sc	fet_de sc	d_pedie nt	Cobertu ra	uso	ped_de sc	caud al
61,5 1	61,51	61,51	61,51	36,90	20,50	61,51	30,75	61,51	20,50	26,36	49,21	61,5 1	12,30	7,69
49,0 3	61,51	61,51	61,51	36,90	20,50	61,51	30,75	61,51	20,50	26,36	49,21	61,5 1	36,90	61,5 1
33,8 2	36,90	10,25	61,51	36,90	20,50	41,00	61,51	61,51	41,00	61,51	32,80	36,9 0	12,30	15,3 8
27,7 8	36,90	10,25	61,51	36,90	20,50	41,00	61,51	61,51	41,00	61,51	32,80	36,9 0	12,30	7,69
47,3 3	36,90	10,25	61,51	24,60	20,50	61,51	46,13	61,51	61,51	26,36	36,90	61,5 1	12,30	7,69
44,3 7	36,90	10,25	61,51	24,60	20,50	61,51	46,13	61,51	61,51	26,36	36,90	61,5 1	12,30	7,69
50,1 5	36,90	10,25	61,51	24,60	20,50	61,51	46,13	61,51	61,51	26,36	36,90	61,5 1	12,30	7,69
42,3 6	49,21	10,25	61,51	24,60	20,50	20,50	61,51	61,51	41,00	43,93	20,50	49,2 1	12,30	7,69
42,2 3	49,21	10,25	61,51	24,60	20,50	20,50	61,51	61,51	41,00	43,93	20,50	49,2 1	12,30	7,69
47,3 8	36,90	10,25	61,51	36,90	20,50	41,00	61,51	61,51	41,00	61,51	16,40	24,6 0	12,30	7,69
52,6 3	36,90	10,25	61,51	36,90	20,50	41,00	61,51	61,51	41,00	61,51	4,10	12,3 0	12,30	7,69
54,3 5	61,51	10,25	61,51	12,30	20,50	20,50	46,13	61,51	20,50	52,72	20,50	49,2 1	12,30	7,69