



República Bolivariana de Venezuela
Universidad Católica Andrés Bello
Caracas

La escasez de recursos hídricos y su influencia en la
economía de Sudáfrica. Período 2000-2019.
Comparación con el caso Venezolano

Autor: Javier Salinas

Tutor: Eduardo Ortiz

Caracas, 31 de Octubre de 2019

Agradecimientos:

A mi familia por el apoyo incondicional,

A mi abuela que creyó en mí desde el principio y a mi madre por enseñarme desde pequeño lo que es la economía,

A Maritza Barrios que me ayudó con la metodología de la investigación,

A mi tutor Eduardo Ortiz, que me ayudó orientando la tesis por el mejor camino,

A mi padrino Raúl González Fabre, que me facilitó la mayoría de los libros utilizados en la investigación y buenas recomendaciones,

A mis amigos y colegas, que a través del trabajo en equipo me ayudaron a hacer el recorrido más fácil,

Por último, a la Universidad Católica Andrés Bello y a sus profesores, que me brindaron los recursos para formarme como profesional,

Índice de Tablas	5
Indice de Figuras	5
1. Introducción	7
1.1. Planteamiento general.....	7
1.2. El foco en la República Sudafricana.....	8
1.3. Objetivos	11
1.4. Justificación.....	13
1.5. Metodología.....	14
1.6. Desarrollo.....	14
2. PIB y recurso hídrico en la República Sudafricana	15
2.1. Variables del Estudio	15
2.2. Análisis de Estacionariedad	17
2.3. Análisis de Correlación	18
2.4. Análisis de Regresión.....	19
Definiciones de importancia para entender el análisis de regresión.....	22
3. Calidad del agua y producción en la República Sudafricana: problemas y soluciones	23
Definiciones de Importancia	25
3.1. Metodología de la investigación de Plessis (2019).....	26
3.1.1. Población y muestra.....	26
3.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	27
3.2. Análisis de riesgo asociado a la calidad de agua en Sudáfrica.....	30
3.2.1. Provincia Zwazulu Natal	33
Áreas de riesgo para el uso de la irrigación.....	36
Conclusión	39
3.2.2 Provincia de West Cape	40
3.2.1 ZADA Berg- Olifants	42
Áreas de riesgo en términos de irrigación.....	43
ZADA Breede- Gouritz	46
Áreas de riesgo en términos de irrigación	48
3.2.3 Provincia de Gauteng	52

ZADA Vaal	53
Áreas de riesgo para uso doméstico	54
Áreas de riesgo en términos de uso industrial	57
ZADA: Limpopo.....	58
Riesgo en términos de uso doméstico	59
Análisis del riesgo para el uso industrial	62
3.2.4 Provincia Limpopo	64
ZADA Olifant	65
Riesgo en términos de uso industrial	65
4. Comparación con el caso Venezuela	66
Situación del agua.....	67
Situación minera en Venezuela	68
5 Conclusión.....	70
6. Referencias.....	73
Bibliografía	73

Índice de Tablas

Tabla 1. Variables consideradas para la regresión lineal y análisis de correlación

Tabla 2. Resumen de la Prueba de Raíz Unitaria Phillips-Perron

Tabla 3. Correlación entre las Variables del Estudio

Tabla 4. Salida de la estimación

Tabla 5. Pruebas para validar cumplimiento de los supuestos de los MCO

Tabla 6. Fases del procedimiento en la investigación de las zonas de calidad, con su riesgo asociado y sus principales pasos

Tabla 7. Incertidumbres generadas durante el estudio de la calidad del agua

Indice de Figuras

Figura 1. Uso de agua por sector en Sudáfrica. Elaboración propia a partir de Steyn Meissner y Funke (2019)

Figura 2. Interpolación de mapas de las ZADAs y provincias de Sudáfrica, elaboración propia a partir de StatsSa (2017)

Figura 3. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de irrigación para Zwazulu- Natal. Variables químicas

Figura 4. Análisis del riesgo de la calidad del agua en términos de irrigación. Variable estudiada Faecal Coliform

Figura 5. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de irrigación para Berg Olifant; de elaboración propia a partir de Plessis 2019

Figura 6 Riesgo total en Berg Olifant para el parámetro faecal coliform. En términos de irrigación

Figura 7. Riesgo total y zonas significativas de riesgo para la ZADA de Breede-Gouritz en términos de irrigación

Figura 8. Riesgo total del parámetro Faecal Coliform en la ZADA de Breede Gouritz en términos de irrigación

Figura 9. Participación de cada provincia en la producción por sector

Figura 10. Riesgo total y zonas de riesgo en Vaal, en términos de uso doméstico (parámetros químicos)

Figura 11. Riesgo total en Vaal del parámetro Clorofila a, en términos de uso doméstico

Figura 12. Riesgo total del parámetro Faecal Coliform, en términos de uso doméstico para la ZADA de Vaal

Figura 13. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de uso industrial, para la ZADA de Vaal (parámetros químicos)

Figura 14. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de uso doméstico para Limpopo

Figura 15. Riesgo total del parámetro Clorofila a en términos de uso doméstico para la ZADA de Limpopo

Figura 16: Riesgo total del parámetro Faecal coliform en términos de uso doméstico para la ZADA de Limpopo

Figura 17. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de uso industrial para la ZADA de Limpopo

Figura 18. Deterioro total en la salud de los ríos en las diversas ZADAS

1. Introducción

1.1. Planteamiento general

Algo que resulta intuitivo es el hecho de que el agua desempeña un papel importante para el desarrollo humano, pero ¿realmente valoramos en su justa medida o ubicamos de forma correcta el papel que juegan los recursos hídricos para el desenvolvimiento de la vida? Como economistas no podemos dar una respuesta a esta aseveración sin antes someter nuestros juicios al rigor científico, no podemos aceptar ninguna idea propia como cierta sin antes contrastar nuestras reflexiones cargadas de subjetividad, con lo que tienen que decir los datos estadísticos.

La idea general de que el agua desempeña un papel protagónico en el crecimiento económico es compartida por múltiples estudios. Citamos uno de ellos a continuación "En el caso del agua su valor es doble, no solo le es necesaria al ser humano para subsistir, como fuente de vida, sino que cada vez es más importante en el desarrollo de sus diferentes actividades económicas relacionadas con agricultura, ganadería, industria, energía, etcétera." (Blanco 2017, p.21).

Es ciertamente nuestro objeto de estudio "la manera en que los hombres optimizan los recursos productivos escasos, para obtener distintos bienes y distribuirlos para su consumo presente o futuro entre las diversas personas y grupos que componen la sociedad" Astudillo (2012, p.5.). Los recursos hídricos pueden entenderse dentro de la categoría de: "Recursos naturales escasos, limitados por sus sistemas de regeneración, irremplazable para la vida y el desarrollo, irregular en su distribución espacial y temporal, vulnerable y susceptible de usos alternativos y sucesivos" (Olmedo, 2006, p.14).

Siguiendo el mismo orden de ideas tendríamos que hacer alusión a la existencia de una especialidad económica denominada como "Economía ambiental" que busca precisamente la coherencia entre el desarrollo económico y la adecuada administración de recursos naturales. Puede definirse como: "el estudio científico de los aspectos relacionados con la escasez y el comportamiento humano, en relación con su entorno natural, físico y residencial" (Sevilla, Torregosa Moreno 2013). Hoy día, producto de la crisis ambiental por la que pasa el planeta, la idea de una economía ambiental toma

aún más fuerza: “A lo largo de los dos últimos años, la idea de una economía verde ha abandonado el reducto especializado de la economía ambiental para penetrar en el discurso político dominante. Con cada vez mayor frecuencia, este concepto forma parte del vocabulario de Jefes de Estado y Ministros de Economía” (PNUMA, 2011)

Partimos de tres puntos centrales:

1. El agua desempeña un papel fundamental en el desarrollo de las actividades humanas.
2. La Economía como disciplina que se encarga de la óptima distribución de recursos escasos, es la ciencia que tiene como deber el análisis y consideración de los problemas de reparto de recursos hídricos (recalcamos la existencia de una economía ambiental).
3. Existe actualmente un problema a escala mundial respecto a la gestión de recursos hídricos que afecta de forma directa a más de 2.000 millones de personas. (Unesco, 2016)

1.2. El foco en la República Sudafricana

El documental del director Daniel Bohórquez “Chad El milagro del agua” fue galardonado con varios premios a nivel internacional por demostrar la realidad de la población africana. En este se nos muestra cómo es la vida en una región muy distante a la nuestra, África; vemos el calvario por el que tienen que pasar miles de familias africanas para conseguir el líquido vital. Es precisamente la escasez de recursos hídricos la culpable de que niños, niñas, mujeres y hombres de todas las edades caminen durante horas a una temperatura en ocasiones mayor a los 32 grados, recorriendo un sendero de tierra al lado de una carretera sin pavimentar, para conseguir unos pocos litros de agua. Esto trae como consecuencia que miles de jóvenes tengan que perder años productivos de su vida, en los que deberían estar estudiando para desarrollar sus capacidades o simplemente trabajando, destinados a la recolección de agua para su supervivencia; la falta de agua se traduce en inseguridad alimentaria. Un dato a considerar a la hora de hablar de escasez es que: “La agricultura es, el mayor consumidor de agua dulce a nivel mundial. Aproximadamente el 70% de las

extracciones de agua dulce se destinan a la agricultura de regadío. La escasez de agua podría limitar la producción y el abastecimiento de alimentos” (Unesco, 2009)

Precisamente en el audiovisual se relata que muchas familias africanas, como producto de la falta de recursos, se ven obligadas a tomar la previsión de comer una sola vez al día, porque no saben si podrán volver a conseguir comida. Esto tiene por consecuencia una sociedad donde la pobreza se prolonga en el tiempo porque la juventud es incapaz de prepararse para prosperar en estas condiciones tan adversas. El documental anteriormente mencionado es valioso por su riqueza cualitativa, que nos permite observar un lado más humano de la carencia de agua.

Ahora, pensando un poco más en una aproximación cuantitativa al problema de la insuficiencia de recursos hídricos en África, vemos que es una cuestión multifactorial. Por un lado el exceso de demanda y la poca oferta crean escasez. Los recursos hídricos se encuentran posicionados de forma desigual espacialmente, la relación agua/población es menor en el continente africano y en Europa en contraste con Latinoamérica, donde la abundancia de recursos hídricos supera la cuota utilizada por sus pobladores Olmeda (2006).

No podemos esperar que la situación del continente africano respecto a su proporción de recursos hídricos/población cambie para mejor. Más bien según cifras oficiales de la ONU se prevé que “El 60% del crecimiento mundial de la población entre el 2008 y el 2100 ocurrirá en África Subsahariana (32%) y en Asia del Sur (30%). Juntas, se espera que estas regiones representen más o menos la mitad de la población”, lo que es de esperar que establezca tensiones adicionales sobre los recursos hídricos. Onu (2009).

En el caso concreto de la República Sudafricana ('Sudáfrica' en lo que sigue) “se encuentra entre los 50 países con menos precipitaciones del mundo, con una media anual de 495 mm, muy por debajo de los 860 mm de media mundial, considerado uno de los países más secos del África subsahariana.” Oficina Económica (2017).

La contaminación de los recursos hídricos es un factor a considerar a la hora de pensar en las causas de desabastecimiento. Sudáfrica es un país de grandes riquezas

minerales que explota de manera constante y extensa. “La región de las minas auríferas más ricas del mundo, se encuentra cerca de la ciudad de Johannesburgo; el yacimiento se empezó a explotar de forma activa en 1886” (Buchot, 2018). Esta abundancia mineral ha desembocado en altos niveles de contaminación para los yacimientos de agua subterránea de los cuales depende parte de la población. “La industria minera en la actualidad representa el principal foco de contaminación de los afluentes que abastecen a la ciudad y otras localidades rurales. El agua tiene una alta presencia de metales pesados, que son precursores de enfermedades como cáncer y malformaciones” (Guadarrama, 2010).

Lamentablemente el coste social y ambiental de la minería no se agota en la contaminación de agua subterránea. Desde la contratación de ejércitos mercenarios para la extracción ilegal de oro y diamantes hasta la emanación de gases tóxicos como el dióxido de azufre (responsable de la lluvia ácida), hay otros precios que tienen que pagar los sudafricanos por la actividad minera de la cual depende gran parte de la población. Movimiento bosques tropicales (2004)

Nos encontramos entonces frente a un país que crecerá más en los próximos años y por ende la demanda de agua irá en aumento, un país que se caracteriza por tener un número muy inferior de precipitaciones anuales a la media mundial. Eso sumado al déficit existente en infraestructura y al alto grado de contaminación producto de la actividad minera pronostica un paisaje un tanto oscuro. De allí el interés por comprender cómo esto afecta y afectará el desenvolvimiento económico de la nación africana.

La escasez de recursos hídricos en Sudáfrica es una situación que pone en riesgo la seguridad alimentaria en el país, donde la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura la define como la situación en la que “... todas las personas tienen acceso físico, social y económico permanente a alimentos seguros, nutritivos y en cantidad suficiente para satisfacer sus requerimientos nutricionales y preferencias alimentarias, y así poder llevar una vida activa y saludable.” FAO (2019). Los períodos de sequía afectan de manera directa a la agricultura, genera pérdida de cosechas y disminución en la productividad, el aumento en los costos de producción

trae consigo aumentos en el precio de los alimentos, por ejemplo, para 2015 año en el que Sudáfrica estaba en plena sequía “los alimentos basados en granos aumentaron en promedio un 5,1%” Florence Newa Team (2016). Por el lado de la producción de carnes, la falta de agua impide el desarrollo de praderas de pastoreo, generando que dicho déficit y la falta de fuentes de agua obliguen al ganadero a tomar medidas que no quieren, “aquellos que no pueden permitirse el gasto creciente en agua se ven obligados a vender su ganado a precios por debajo de los valores de mercado.” Florence Newa Team (2016).

Las variables estudiadas en su conjunto de agua, alimentos y energía son muy vulnerables a los cambios climáticos. En donde la agricultura queda en posición desventajosa frente a la producción eléctrica, que al general mayores ganancias se le otorga mayor importancia de suministro. Eskom empresa pública generadora de electricidad y demandante de agua, necesita la garantía de que tendrá acceso continuo a los recursos hídricos; hecho que está vinculada a una jerarquía de suministro de agua. En otras palabras, algunos sectores necesitan mayor disponibilidad de suministro que otros, Meissner, Funke, Nortje y Steyn (2019). Factor que depende de las consideraciones del estado, medido por la importancia del sector en la economía.

En este sentido, el agua juega un papel primordial en el desarrollo económico de la nación, por lo que una correcta educación y concientización sobre la importancia del recurso hídrico es fundamental, para potenciar el crecimiento de forma sostenida, ya que encuestas arrojaron que la población tiene una visión muy simplista en lo que a seguridad del agua se refiere, estos piensan: cuando abro el grifo y está seco, no hay seguridad, cuando abro el grifo y sale agua, si hay seguridad. Meissner, Funke, Nortje, Steyn (2019) Recordamos que en las regiones con mayor pobreza de Sudáfrica el gobierno subsidia completamente el acceso al agua a sus ciudadanos, por lo que todo el recurso desperdiciado deja de ir a zonas más productivas y tiene que ser pagado directamente por el gobierno.

1.3. Objetivos

A lo largo de este trabajo analizaremos cómo afecta actualmente el problema de la escasez de recursos hídricos al desarrollo económico de Sudáfrica. Además

compararemos el caso sudafricano, con uno parecido respecto a la gestión de infraestructuras de la distribución de agua: este es el paradójico caso venezolano de desabastecimiento de recursos hídricos, porque aunque hay abundancia del factor en el estado natural, está lejos de su punto óptimo de administración, ya que se producen importantes niveles de contaminación como los registrados en el arco minero; además del racionamiento del servicio a lo largo del país, por falta de disponibilidad del recurso. Por último, intentaremos exponer algunas soluciones tentativas que se han planteado desde los modelos de economía ambiental.

Por último intentaremos exponer algunas soluciones tentativas que se han planteado desde los modelos de economía ambiental.

De manera más sistemática, la estructura teórica de objetivos de nuestro trabajo es la siguiente:

Hipótesis

La escasez de recursos hídricos repercute de forma negativa en el crecimiento económico de Sudáfrica.

Objetivos generales

1. Analizar el impacto de la escasez de recursos hídricos en la economía de Sudáfrica.
2. Evaluar cómo se asemejan los problemas de escasez de recursos hídricos en Sudáfrica, con el caso de escasez de recursos hídricos en Venezuela.

Objetivos específicos

1. Identificar cuáles son los aspectos que provocan la escasez de recursos hídricos en Sudáfrica.
2. Describir la relación entre escasez de recursos hídricos y el crecimiento económico en Sudáfrica.
3. Exponer las posibles soluciones que se han planteado para esta problemática desde el marco de la economía ambiental.

4. Evaluar cómo el caso sudafricano puede ayudarnos a comprender el caso de escasez de recursos hídricos en Venezuela.

1.4. Justificación

El interés de reflexionar en profundidad cómo afecta la escasez de recursos hídricos al desarrollo económico va de la mano del interés mismo de la ciencia, que es la descripción y explicación de fenómenos para su posterior predicción y control con el objetivo final de hallar soluciones eficientes a problemáticas complejas (Ávila, 2006).

Describir de qué forma varían los datos de las variables económicas en su conjunto, es un paso fundamental para posteriormente hallar soluciones factibles. El interés en la investigación respecto a la administración adecuada de recursos naturales no es algo nuevo. En torno a este tipo de problemática se han hecho innumerables estudios y se han desarrollado nuevos sistemas de pensamiento para abarcar de forma coherente la escasez de recursos, en un mundo globalizado con un crecimiento poblacional que año tras año aumenta la demanda de esos recursos. Por supuesto, el crecimiento demográfico no es el único, quizás ni siquiera el principal, factor de la escasez de recursos hídricos. Otros han sido señalados como concurrentes:

Los recursos hídricos se enfrentan a una multitud de amenazas graves, todas ellas originadas principalmente por las actividades humanas, como la contaminación, el cambio climático, el crecimiento urbano y cambios en el paisaje como la deforestación. Cada una de ellas tiene un impacto específico, por lo general directamente sobre los ecosistemas y a su vez, sobre los recursos hídricos. Onu (2006).

Olmeda afirma que a medida que el agua vaya escaseando en los sectores público y privado estos deberán asignar una cantidad mayor de presupuesto para satisfacer las demandas de la población. En consecuencia: “La actividad económica está limitada por la disponibilidad de agua, pudiendo imposibilitar o perjudicar, en diferentes grados de intensidad, la realización de proyectos que serían factibles de existir disponibilidad de agua.” Olmeda (2006, p.5).

1.5. Metodología

Además de la investigación bibliográfica sobre los temas empíricos clave de este trabajo, y de nuestro propio análisis sobre la relación entre agua y producto de la economía desde la Economía Ambiental, hemos:

- Realizado un análisis econométrico de usando Eviews sobre la relación entre Agua y PIB en la economía sudafricana.
- Descrito cualitativamente el impacto de la disponibilidad y calidad del agua en cuatro regiones relevantes de la República Sudafricana por su población y producción, utilizando en detalle el análisis de Plessis (2019) sobre la calidad de las fuentes de agua en ese país.

Los detalles metodológicos se encuentran al principio de las respectivas exposiciones, a cada una de las cuales dedicamos un capítulo.

1.6. Desarrollo

El capítulo 2 contiene nuestro análisis econométrico sobre el impacto del consumo de agua sobre el PIB de la República de Sudáfrica. Usando datos estadísticos oficiales e internacionales, encontramos una influencia significativa del agua sobre el crecimiento económico.

En el capítulo 3 presentamos primero el análisis de Plessis (2019) sobre la calidad del agua en Sudáfrica: sus variables y metodología. A continuación, tomamos varias regiones relevantes de la República Sudafricana y, utilizando los resultados del análisis de Plessis (2019), estudiamos las dificultades que la calidad del agua disponible plantea para las actividades productivas predominantes en cada región. Discutimos los principales problemas identificados desde la teoría de la Economía Ambiental sobre el agua, proponiendo algunas perspectivas de solución y caminos adelante.

En el capítulo 4 volvemos la mirada sobre la situación del suministro de agua en Venezuela, intentando aplicar las enseñanzas obtenidas del estudio del caso sudafricano a nuestro contexto.

Finalmente, en el capítulo 5 recopilamos las principales conclusiones de nuestro estudio, que responden a los Objetivos propuestos en 1.3.

2. PIB y recurso hídrico en la República Sudafricana

El primer paso de nuestra discusión consiste en un análisis econométrico realizado con Eviews sobre la relación entre crecimiento económico y consumo de agua en la República Sudafricana.

2.1. Variables del Estudio

Para estudiar el comportamiento del PIB de Sudáfrica con relación a la utilización del recurso hídrico, realizamos un Análisis de Regresión sobre algunas variables relevantes. Para el Análisis de Regresión que se realiza posteriormente, con el objetivo de explicar el comportamiento del PIB de Sudáfrica debemos definir las variables que participaron en el estudio.

El primer paso fue buscar en internet series de tiempo para los datos relevantes. Fue un reto debido a que para la mayoría de las variables solo había publicados cuatro o cinco años de data, por lo que la muestra siempre terminaba siendo muy pequeña. Se consideró data de agua fresca utilizada, productividad del agua, retiro del agua anual, población con acceso al agua tanto rural como urbana, capacidad de las alcantarillas. Casi todas fueron tomadas del Banco Central de la República Sudafricana, pero la mayoría de la data carecía de un número de muestras que permitiera hacer un análisis sólido.

Las variables que demostraron ser más sólidas para el análisis de regresión resultaron ser el PIB de Sudáfrica como variable dependiente (obtenido del Fondo Monetario Internacional), los metros cúbicos de agua utilizados (obtenido del Banco Mundial) y la cantidad total de electricidad producida (obtenida de StatsSa, que es el instituto de estadística sudafricano) como variables independientes. A su vez el modelo de regresión cuenta con dos variables instrumentales PIB per cápita (Fondo Monetario Internacional) y producción minera total (Federal Reserve data, que es una extensión de la Reserva Federal de los EEUU) que ayudaron al cálculo de la regresión, que desde el principio anticipaba posibles problemas de endogeneidad.

En la siguiente tabla-resumen se explican algunas características para estas variables.

Tabla 1

Variables consideradas para la regresión lineal y análisis de correlación

Nombre	Descripción	Fuente	Tipo de Variable
PIB	Producto Interno Bruto a precio constante del 2010	Fondo Monetario Internacional	Dependiente
Agua	Metros cúbicos de agua utilizada	Banco Mundial	Independiente
Elec	Cantidad total de electricidad producida	StatsSa	Independiente
PIBpc	Producto Interno Bruto Per Cápita a precios constantes del 2010	Fondo Monetario Internacional	Variable Instrumental
PMT	Producción Minera Total medida en términos de millones de dólares como número índice (100 = 2015)	Federal Reserve Economic Data	Variable Instrumental

Todas las variables se utilizaron con frecuencia trimestral para el período 2000 – 2018. En el caso de la variable Agua, que originalmente tiene frecuencia anual, se le aplicó la herramienta estadística interpolación lineal para estimar los valores trimestrales a partir del dato anual.

2.2. Análisis de Estacionariedad

Para todas las variables que forman parte del estudio se le aplicará una transformación logarítmica con el objetivo de suavizar su comportamiento, y al mismo tiempo que los coeficientes de regresión estimados con estas variables midan elasticidad.

En este apartado debemos determinar el orden de integración que tienen las variables con la ayuda de la Prueba de Raíz Unitaria Phillips-Perron. Este análisis es importante para establecer cómo las variables participarán en el modelo de regresión y si la cointegración debe ser verificada.

Se prefiere hacer las Pruebas de Raíz Unitaria con Phillips-Perron (PP) en vez de la tradicional Dickey-Fuller Aumentada (DFA) porque la primera tiene mejores propiedades estadísticas en forma asintótica (tamaño de muestras grandes), y si consideramos que contamos con 76 observaciones podemos considerar escoger las propiedades asintóticas de PP.

A continuación se muestra una tabla resumen del Análisis de Estacionariedad.

Tabla 2

Resumen de la Prueba de Raíz Unitaria Phillips-Perron.
(Pruebas realizadas al 5% de significancia)

Variable	Variables Exógenas	Banda	P-Valor	Decisión
LPIB	Constante	6	0.4326	No es estacionaria
Δ LPIB	Ninguna	5	0.0161	Si es estacionaria
LAgua	Constante	5	0.9497	No es estacionaria
Δ LAgua	Constante	5	0.0000	Si es estacionaria
LElec	Constante	2	0.0770	No es estacionaria
Δ LElec	Ninguna	1	0.0000	Si es estacionaria

LPIBpc	Constante	6	0.4242	No es estacionaria
Δ LPIBpc	Ninguna	5	0.0139	Si es estacionaria
LPMT	Constante y Tendencia	2	0.0577	No es estacionaria
Δ LPMT	Ninguna	7	0.0000	Si es estacionaria

Como podemos observar, todas las variables se hicieron estacionarias en media en la primera diferencia, por lo tanto, podemos afirmar que son integradas de orden uno. Esto permite establecer que podemos introducir las variables en el modelo de regresión en nivel (sin aplicar diferencias) y que la cointegración es necesaria para evitar el problema de regresión espuria.

2.3. Análisis de Correlación

El Análisis de Correlación nos permite observar cómo se asocian un par de variables, es decir, cuánto se parecen entre sí. Este análisis es muy distinto del análisis de regresión donde existe direccionalidad y podemos medir el impacto de las variables independientes sobre la dependiente. La correlación tiene sus limitaciones propias, pero aun así resulta una fuente de información estadística descriptiva importante.

A continuación, se muestra un cuadro que muestra las correlaciones entre todas las variables del estudio.

Tabla 3

Correlación entre las Variables del Estudio

Correlation Probability	LPIB	LPIBPC	LAGUA	LELEC	LPMT
LPIB	1.000000 ----				
LPIBPC	0.989095 0.0000	1.000000 ----			
LAGUA	0.804329 0.0000	0.708404 0.0000	1.000000 ----		
LELEC	0.933747 0.0000	0.941721 0.0000	0.680230 0.0000	1.000000 ----	
LPMT	0.390385 0.0005	0.343095 0.0024	0.473155 0.0000	0.316588 0.0053	1.000000 ----

Todas las correlaciones mostradas son estadísticamente relevantes o significativas (distintas de cero). Como era de esperarse vemos una alta correlación positiva o directa entre LPIB y LPIBpc. Luego es interesante ver que la producción de electricidad LElec tiene una altísima correlación positiva o directa con LPIB y LPIBpc. El agua consumida LAgua muestra una correlación positiva o directa con LPIB y LPIBpc pero esta relación es notoriamente menos fuerte que para la producción eléctrica. Finalmente, la variable LPMT --proxy de la producción minera-- muestra menor correlación positiva o directa en la tabla, que se puede explicar debido a la variación de los precios de los minerales en el mercado internacional, que pueden ser muy volátiles a lo largo de una década.

2.4. Análisis de Regresión

Se propone el siguiente modelo de regresión para explicar el PIB de Sudáfrica en el período 2000 – 2018.

$$LPIB_t = \beta_1 + \beta_2 LAgua_t + \beta_3 LElec_t + \beta_4 LPIB_{t-1} + u_t$$

Donde

β_1 : Constante o intercepto.

β_2 : Elasticidad del PIB con respecto a Agua.

β_3 : Elasticidad del PIB con respecto a Elec.

β_4 : Elasticidad del PIB con respecto al PIB del período pasado (elemento autorregresivo).

u_t : Perturbación estocástica.

Tomando en cuenta el riesgo de endogeneidad en el modelo de regresión, se escogió como método de estimación los Mínimos Cuadrados en 2 Etapas (MC2E), donde las variables instrumentales utilizadas fueron LPIBpc rezagada un período como medida del ingreso esperado de las personas, y fue excluido de la regresión lineal LPMT debido a la baja correlación que tiene con el PIB (variable proxy). La inclusión del elemento autorregresivo es una medida remedial o correctiva a los fuertes problemas de autocorrelación presentados en las perturbaciones del modelo de regresión.

La salida de la estimación se muestra en la Tabla 4, siguiente página. De tal manera que el modelo de regresión estimado sería:

Dependent Variable: LPIB
Method: Two-Stage Least Squares
Date: 03/30/07 Time: 09:58
Sample (adjusted): 2000Q2 2018Q4
Included observations: 75 after adjustments
Convergence achieved after 8 iterations
Instrument specification: LPIBPC(-1) LPMT
Constant added to instrument list
Lagged dependent variable & regressors added to instrument list

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	-37.63157	7.534854	-4.994333	0.0000
LAGUA	0.730540	0.288211	2.534740	0.0135
LELEC	5.320767	0.772544	6.887331	0.0000
AR(1)	0.738765	0.071375	10.35046	0.0000
R-squared	0.966299	Mean dependent var		24.95402
Adjusted R-squared	0.964875	S.D. dependent var		0.374542
S.E. of regression	0.070196	Sum squared resid		0.349846
Durbin-Watson stat	1.788006	J-statistic		2.691479
Instrument rank	6	Prob(J-statistic)		0.260347
Inverted AR Roots	.74			

$$LPIB_t = \beta_1 + \beta_2 LAGUA_t + \beta_3 LElec_t + \beta_4 LPIB_{t-1} + u_t$$

Podemos observar que el Agua, la Electricidad y el PIB del período anterior pueden explicar el comportamiento del PIB en un 96.63% que representa excelente bondad de ajuste. El aporte individual de las variables es relevante al 1% de significancia a excepción de LAgua que es significativa al 5%. Los signos de los coeficientes de regresión estimados son coherentes con lo esperado.

Tabla 4

Salida de la estimación

Adicionalmente, podemos afirmar luego de aplicar las pruebas indicadas que las perturbaciones del modelo de regresión no están autocorrelacionadas (Prueba del Estadístico Q), son homoscedásticas (Prueba White), se distribuyen según una curva Normal (Prueba Jarque-Bera) y finalmente podemos decir que las perturbaciones son estacionarias en media (Prueba Phillips-Perron). Todo lo anterior, permite afirmar en consecuencia, que las perturbaciones son ruido blanco y que existe cointegración entre

las variables, evitándose el problema de regresión espuria. Este cumplimiento de supuestos garantiza que las estimaciones por MC2E serán las Mejores Estimaciones Linealmente Insesgadas (MELI). En la siguiente tabla se muestra el resumen de los resultados de las pruebas mencionadas.

Tabla 5

Pruebas para validar cumplimiento de los supuestos de los MCO

Prueba	Parámetros	P-Valor	Decisión
Estadístico Q	10 rezagos	0.1442	No autocorrelación
White	Con términos cruzados	0.1218	Homoscedasticidad
Jarque-Bera	-	0.0339	Normalidad al 1%
Phillips-Perron	Sin variables exógenas	0.0000	Si estacionario

Si bien existe una relación entre el Agua y la Electricidad, ya que esta última requiere a su vez de grandes gastos de Agua y de combustibles basados en el carbono (carbón e hidrocarburos) entre otras materias primas, podemos apreciar que la elasticidad del Agua es menor a la de la Electricidad. Esto se debe al valor agregado de haber producido electricidad, un proceso complejo que afecta el potencial de desarrollar otras actividades para producir bienes y servicios. Permite por tanto un mayor crecimiento económico que sólo aumentar el volumen de agua consumida. Lo anterior nos permite concluir que la producción de electricidad es un mayor multiplicador de crecimiento económico que el agua.

A continuación interpretamos los coeficientes de regresión estimados:

$$\hat{\beta}_2 = 0.7305$$

Por cada 1% que aumente los metros cúbicos de agua utilizada, el PIB aumentará en promedio 0.7305% (elasticidad inelástica). Manteniendo constante la influencia de la Producción Total de Electricidad y el PIB del período anterior.

$$\hat{\beta}_3 = 5.3208$$

Por cada 1% que aumente la Producción Total de Electricidad, el PIB aumentará en promedio 5.3208% (elasticidad elástica). Manteniendo constante la influencia de los metros cúbicos de agua utilizada y el PIB del período anterior.

$$\hat{\beta}_4 = 0.7388$$

Por cada 1% que aumente el PIB en el período anterior, el PIB en el período actual aumentará en promedio 0.7388%, manteniendo constante la influencia de los metros cúbicos de agua utilizada y la Producción Total de Electricidad. En los modelos de regresión con componente autorregresivo de orden uno, el coeficiente debe ser mayor a cero y menor a uno para poder afirmar la estabilidad del modelo ($0 < \beta_4 < 1$), lo que en efecto ocurre.

Definiciones de importancia para entender el análisis de regresión

El estudio econométrico busca "... especificar y estimar un modelo de relación entre las variables económicas relativas a una determinada cuestión conceptual" Alfonso Novales (2010), estimación que, a través de modelos de regresión, dan lugar a resultados que deben ser analizados para concluir su comportamiento futuro. Por lo que se resaltan ciertos aspectos importantes de algunos conceptos:

- Regresión por Mínimos cuadrados en dos etapas (MC2E): En búsqueda de resultados óptimos, basa el cálculo de sus valores en variables que no están correlacionadas con los errores. [IBM Knowledge Center \(2019\)](#). "En su forma más simple, intenta minimizar la suma de cuadrados de las diferencias en las ordenadas (llamadas residuos) entre los puntos generados por la función

elegida y los correspondientes valores en los datos.” Wikipedia 2019 referenciado en Abdi, H (2003).

- Cointegración: Al momento de estimar permite describir la existencia de una relación de equilibrio o estacionaria entre dos o más series de tiempo, cada una de las cuales es individualmente no estacionaria Banerjee (1993).
- Pruebas de raíz unitaria: Ante situaciones de no estacionariedad será muy difícil representar a la serie de tiempo durante intervalos de tiempo pasados y futuros con un modelo algebraico simple. Brugger Jakob (2010), para ello surgen las pruebas de raíz unitaria, en donde “El número de raíces unitarias equivale al número de veces que se tiene que diferenciar una serie para hacerla estacionaria” Brugger Jakob (2010).

3. Calidad del agua y producción en la República Sudafricana: problemas y soluciones

La segunda parte de nuestra investigación es descriptiva, ya que habla de las fuentes de agua presentes en Sudáfrica comprendidas principalmente por humedales, ríos, lagunas, agua subterránea y represas. Varias de ellas tienen un carácter transfronterizo, lo que implica que las naciones que comparten los recursos hídricos tienen que cooperar para garantizar un uso óptimo de la información recopilada y realizar esfuerzos conjuntos por brindar un suministro de agua constante de calidad a la región.

Utilizamos una recopilación de datos estadísticos presentados en el libro de Anja du Plessis (2019) que habla de las nueve zonas de administración del agua (ZADA) en Sudáfrica y de la situación acuífera en cada una de esas zonas. La autora hace un estudio del riesgo presente en las principales actividades económicas del país que demandan agua para su funcionamiento (irrigación de los cultivos, actividad industrial) y mide la calidad del agua de que disponen las personas para su uso doméstico, así como el tratamiento de las aguas residuales y la influencia de la calidad del agua en el ecosistema en estado natural.

Se identificarán las zonas de calidad del agua y su riesgo asociado. Para el propósito de la investigación utilizaremos los datos de las nueve zonas de administración del agua de Sudáfrica que fueron establecidas en 2016. Los datos relacionados a la calidad del agua fueron recolectados dentro del período comprendido entre Julio 2011 y Junio 2017. Proviene del Departamento de Agua y Sanidad del gobierno sudafricano (DWS) por lo que pueden considerarse como unos datos confiables de calidad.

Una vez realizado ese recuento, indagaremos las relaciones entre el PIB (producción de bienes y servicios) y la disponibilidad de los recursos hídricos, así como un análisis de la calidad del agua a lo largo del país en cuatro provincias clave para entender la dinámica económica y cómo esta calidad acuífera afecta la producción de algunas industrias esenciales para el crecimiento de la nación sudafricana. Los sectores económicos que utilizaremos para establecer la relación entre consumo de agua y crecimiento económico son: agricultura, producción minera total y generación eléctrica; debido a que las cuatro necesitan de un suministro de agua constante para su funcionamiento.

La recolección de datos realizada por Anja du Plessis (2019) habla de las zonas de riesgo en cuanto a recursos hídricos y sus principales demandantes (uso doméstico, irrigación, ecosistema y uso industrial) en cada una de las nueve zonas de administración del agua en Sudáfrica. Abordaremos sus conclusiones desde un punto de vista económico, profundizando en el impacto que ha tenido la calidad del suministro de agua en Sudáfrica para la producción de bienes y servicios, que es el tema central de esta investigación.

Se hará un estudio comparativo que busque demostrar que el incremento del riesgo en cuanto a la calidad del agua, es un costo para la economía. La mayoría de las veces es asumido por el gobierno, pero otras veces por el sector privado, que para llevar a cabo sus proyectos tiene que cargar con los costos de transporte del agua, su procesamiento para que sea apta para las actividades productivas; o incluso por el ciudadano común que tiene elevados costos de tiempo, en algunos lugares para

adquirir el agua o gastos derivados de la salud debido a que las fuentes de agua que consumen no son aptas para los seres humanos.

También se expondrá cómo la oferta de agua condiciona las actividades productivas en el país, ya que estas compiten por la obtención de los recursos hídricos a un precio que tiene una tendencia clara de volverse más costoso, por lo que las actividades que sean más eficientes en la utilización del agua y que tengan una rentabilidad más elevada son las que van a prosperar en el país. Se hará una relación entre lo que sucede en las regiones administrativas del agua sudafricanas (ZADA), con su correspondiente evaluación de riesgo por sector demandante, con lo que sucede en el espacio geográfico en cuanto a actividades productivas y uso doméstico; buscando demostrar el impacto que tiene la utilización eficiente o no del agua en las distintas provincias del país.

Definiciones de Importancia

Para un mejor entendimiento de las variables seleccionadas para medir la calidad del agua se procede a explicarlas, definiendo y exponiendo consecuencias para el ecosistema y la economía ocasionadas por la alteración de los valores normales.

- pH (Potencia de Hidrógeno): indica la acidez o alcalinidad en el agua en una escala del 0 a 14, siendo 0 muy ácido y 14 muy alcalino, donde valores entre 6 y 8 indican neutralidad. “El aumento del valor pH puede conllevar a la aparición de amoníaco a partir de iones de amonio... El valor pH influye tanto a las plantas como el metabolismo de los peces. Cuando el pH disminuye a menos de 5,5 o se eleva a más de 9 son pocas las posibilidades de vida.” RonaldScri (2015). El consumo prolongado de aguas con pH puede generar síntomas “... como erupciones en la piel, dolores de cabeza, alergias, resfriados, gripe, y problemas de sinusitis, Si el pH del tejido se desvía demasiado hacia el lado ácido, los niveles de oxígeno disminuyen y mueren las células.” RonaldScri (2015)
- La conductividad eléctrica (CE): definida como “la propiedad de aquello que es conductivo (es decir, que tiene la facultad de conducir). Se trata de una propiedad física que disponen aquellos objetos capaces de transmitir la

electricidad o el calor.” (Definicion.de, 2010). Este concepto está directamente relacionado con la concentración de sólidos disueltos en soluciones acuosas. Entendiendo lo expuesto anteriormente “los altos valores de conductividad en el agua de la superficie muestran la carga de sal en el agua que proviene en primera línea de residuos industriales, escurrimiento de abonos y sal de deshielo. El alto contenido de sales nutritivas (fosfatos y nitratos) en el agua conduce al crecimiento de las algas.

- Amoníaco: nutriente que contiene nitrógeno e hidrógeno, puede llegar al agua a través de heces, animales o humanas; o por filtraciones de fertilizantes provenientes de la industria agrícola. Su toxicidad está íntimamente relacionada con el pH del medio “El amoníaco tóxico para los peces es estable solo en agua alcalina. En agua ácida se forma el amonio, que es inofensivo.” RonaldScri (2015)
- Nitrato: compuesto inorgánico que “no es normalmente peligroso para la salud a menos que sea reducido a nitrito.”(Lenntech). En el agua existen cantidades pequeñas de nitrato, por lo que cuando se determinen concentraciones altas que no provengan de yacimientos de sales naturales, estaremos en presencia de agua que fue contaminada. RonaldScri (2015). Este compuesto llega al agua a través de excremento de animales, cloacas, abono, etc. En grandes cantidades, este puede generar eutrofización, conocido como el “proceso de contaminación más importante de las aguas en lagos, balsas, ríos, embalses, etc. Sewervac Ibérica (2018)
- Fecal coliform: “colección de microorganismos relativamente inofensivos que viven en grandes cantidades en los intestinos del hombre y los animales de sangre caliente y fría. Ayudan en la digestión de los alimentos. Un subgrupo específico de esta colección es la bacteria coliforme fecal, el miembro más común es Escherichia coli.” Brian Oram, PG (2019).

3.1. Metodología de la investigación de Plessis (2019)

3.1.1. Población y muestra

Un total de 2.438 estaciones especializadas (Plessis, 2019) en la calidad del agua fueron evaluadas, en términos de calidad física y química. Solo había 318 estaciones

de medición que midieran *Chlorophyll* y 1619 que midieran los niveles de *Faecal coliform*. Los datos recopilados de las estaciones eran medidos mensual, semanal y diariamente en algunos casos; pero no a un tiempo programado ni día o semana, sino que se establecía un promedio total de las muestras obtenidas en su mayoría de forma irregular en el mencionado período. Algunas estaciones fueron excluidas por inadecuada obtención de los datos, siendo una de las causas principales de error el no haber registrado al menos 4 veces los datos bajo estudio en el año.

Los parámetros de la calidad del agua fueron seleccionados de acuerdo a las siguientes reglas:

- Los parámetros utilizados han de tener índices nacionales disponibles de calidad medidos y reportados por el Departamento de Agua y Sanidad (cuyos datos están restringidos para el uso del público corriente)
- Los parámetros de calidad del agua deben tener un porcentaje de representación mínimo del 80% (50% en el caso de parámetros biológicos) Plessis (2019, p.177).
- Las estaciones de monitoreo que presenten valores no detectables serán excluidas en la medida de lo posible.

Posteriormente fueron seleccionados un total de 11 parámetros que servirán para medir la calidad del agua. Se pueden agrupar en: A) Parámetros físicos: pH y conductividad eléctrica; B) Parámetros químicos: calcio, cloruro, sodio, Ammonia (NH₄), Nitrato (NO₃), Fosfato (PO₄), Sulfato (SO₄); C) Biológicos/microbiológicos: *Chlorophylla* y *Faecal coliform*.

3.1.2. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se llevó a cabo utilizando la regla de “Cuatro por Cuatro” que fue recomendada por el Ministerio de Ambiente canadiense; la regla establece que las estaciones de medición que reporten menos de cuatro de los once parámetros bajo estudio o las muestras que tengan menos de cuatro mediciones al año no deberían ser tomadas en cuenta en el análisis de los datos. Lo que se busca es limitar la

investigación a las estaciones de monitoreo que cumplan con una alta calidad de data y número de representaciones.

Se establecen cuatro categorías de riesgo en cuanto a la calidad del agua:

- 0--- Área sin riesgo (todos los parámetros de calidad del agua son de estándares ideales a aceptables)
- 1--- Área de bajo riesgo (uno o dos parámetros de la calidad del agua son de estándares tolerables a inaceptables)
- 2--- Área de medio riesgo (Potencial riesgo futuro, 50% de los parámetros de calidad son de estándares tolerables a inaceptables)
- 3--- Área de alto riesgo (La mayoría, >80%, de los parámetros del agua son de estándares tolerables a inaceptables)

El procedimiento de recolección de datos fue llevado a cabo en tres etapas que se explicarán en la siguiente tabla

Tabla 6

Fases del procedimiento en la investigación de las zonas de calidad, con su riesgo asociado y sus principales pasos

Fase 1: Recolección de datos, estructurando y limpiando

Paso1: Recolectar data.

Paso 2: Limpiar valores: identificar extremos/ valores inexactos/ valores faltantes y aplicartécnicas de interpolación donde sea necesario.

Paso 3: Estructurar los valores dentro de una base de datos (WMAs): Calculando un promedio de las variables estudiadas en las estaciones de muestras, buscando hacer la data manejable para el análisis.

Fase 2: Análisis de la data

Paso1: Evaluar la calidad del agua. Todos las estaciones que medían la calidad del agua y sus parámetros fueron evaluados de acuerdo a la guía nacional (sudafricana) de calidad del agua en términos de los usos que se les da al agua. En cuanto a los parámetros de calidad del agua fueron determinados como de estándares ideales, tolerables o inaceptables; dependiendo del uso del agua que recibía se le aplico un estándar específico para cada estación implicada.

Paso 2: Desarrollar las categorías de riesgo de la calidad del agua: desarrollando cuatro categorías ya expuestas para cada estación.

Paso 3: Establecer en que categoría de riesgo se encuentra cada estación de monitoreo del país, que es llevado a cabo de manera regional considerando las zonas administrativas del agua (ZADAs)

Fase 3: Interpretación de los resultados

Paso 1: Evaluar tendencias temporales y espaciales: identificando las variaciones más significativas en los parámetros seleccionados de la calidad del agua.

Paso 2: Evaluar relaciones: identificando las más significativas entre las zonas de riesgo de la calidad del agua y las regiones sudafricanas comprendidas por esas mismas zonas.

Paso 3: Evaluar futuros escenarios: identificando áreas que puedan significar una preocupación económica, medioambiental o social medido por el uso doméstico. Debido a que algún parámetro del agua no permite su correcto desarrollo.

Nota: Elaboración propia a partir de Plessis (2019, p. 179)

La complejidad de la data trae como consecuencia que sea necesaria una aproximación heurística, siendo el principal recurso para simplificar los datos la interpolación lineal, que fue necesaria para la data que reflejaba valores que claramente eran irreales. Un ejemplo de esto fue cuando el valor del pH en el agua era de 17 y 18. Considerando que el valor normal del agua superficial oscila entre los 6,5 y 8,5 pH (Carbotecnia, 2019) por lo que en los puntos de monitoreo donde se registraron esos valores fue llevada a cabo una interpolación lineal

Instrumentos de campo	Lugar de la muestra	Representatividad de la muestra	Análisis de laboratorio	Cálculo de la carga
Instrumentos de error	Mezcla de afluentes largos	Distancia espacial entre las series cruzadas	Conservación de las muestras	Frecuencia de las muestras
Instrumentos calibración error	Puntos donde entran los datos	Grande variación por temporada en los puntos de recolección y eventos naturales	Transporte de las muestras	Período de las muestras
	Embargos y zonas muertas	Duración de las muestras y volumen	1) Error de los instrumentos 2) Errores inciertos de los laboratorios	Elección del método de la extrapolación

Según Plessis (2019) referenciado en Davies and Day (1998), este tipo de análisis incurre en una falla que se percibe a la hora de la medición y es que solo analiza los compuestos químicos determinados en un lugar específico a una hora determinada,

generando errores de inexactitud debido a que los valores en el agua son conocidos por fluctuar fuertemente en un mes e incluso al día, por lo que si bien estas muestras ayudan brindando información importante y relevante, debe saberse que son dependientes de eventos aleatorios que pueden afectar la recolección de muestras.

Tabla 7

Incertidumbres generadas durante el estudio de la calidad del agua

Nota: Elaboración propia a partir de Plessis, 2019, referenciado en van Loon et al. 2005, Rode and Suhr, 2007.

Hay que tomar en cuenta que este tipo de análisis estadístico, que trabaja cubriendo grandes cantidades de terreno, tiene una percepción del tiempo que puede ser comparado a la de una fotografía, ya que es una imagen que se tiene que se genera en el instante que se acciona la cámara. Pero la foto nunca va a poder expresar la naturaleza cambiante del ecosistema, que puede generar grandes alteraciones del clima y los valores relevantes en cuestión de minutos. Por lo que este tipo de estudio requiere que se tome en consideración que los valores de los datos pueden cambiar rápidamente en el tiempo. Se necesita una actualización de la información constante y saber que las conclusiones que se alcancen pueden cambiar en el futuro.

3.2. Análisis de riesgo asociado a la calidad de agua en Sudáfrica

En este epígrafe estudiaremos cómo se lleva a cabo la gestión de los recursos hídricos en varias zonas administrativas del agua en Sudáfrica; que recordamos que son nueve igual que las provincias del país. A diferencia de las provincias, las zonas administrativas no responden a límites políticos, sino a la disponibilidad de recursos hídricos. Esa disponibilidad varía mucho de región a región al igual que las precipitaciones, por lo que uno de los retos de Sudáfrica es transportar el recurso de donde es abundante a donde no lo es, para de esta manera garantizar tanto las actividades productivas, como la vida.

Se hará un estudio comparativo entre cuatro provincias relevantes para la tesis, con sus respectivas zonas administrativas del agua. Por medio de una aproximación

matemática determinamos seis áreas del agua a ser estudiadas, (tabla 3 con una interpolación de dos mapas de Sudáfrica utilizados en el estudio) por su correspondencia con el territorio de las provincias de interés haciendo énfasis en el estudio de Plessis (2019), sobre la calidad y el riesgo de los recursos hídricos de dichas zonas. Nuestro interés es poner de manifiesto cómo se relaciona el riesgo y la calidad determinada con la producción y el crecimiento económico.

¿Cómo se determinó la relevancia de las provincias de interés? Consideramos varios factores que concurren en producir una alta demanda de agua:

- Concentran un 60% de la población del país (statsSa, 2011, con base en el censo nacional 2011).
- Producen un 70% del PIB total de la República Sudafricana (stasSa, 2017).
- Dos de ellas (Gauteng con sus ciudades principales de Johannesburgo y Pretoria, y West Cape con Ciudad del Cabo), poseen un PIB per cápita superior en más de un 25% al promedio nacional (stasSa, 2017).
- Las otras dos provincias relevantes para el estudio son Zwazulu Natal y North Cape ambas por estar en el top tres de regiones agrícolas del país (statsSa, 2019) y la última además por ser uno de los focos del crecimiento productivo del país debido a que ha tenido un desarrollo económico sostenido, propiciado por el crecimiento de su agricultura y su minería.

Estos factores de concentración de capital tanto humano como financiero, colocan un estrés adicional en las reservas de agua y la cantidad disponible.

Estableceremos una relación entre la producción de bienes y servicios en cada una de estas zonas, que demostraron ser más productivas que las otras y que por consiguiente generan mayores ingresos que se traducen en una calidad de vida mayor, con una demanda de agua que muchas veces llega a exceder la oferta. Ello origina déficits importantes que tienen que ser controlados a través de transferencias de agua entre zonas (o países), o aumentando el estrés en los recursos naturales disponibles, lo que origina que haya un aumento de riesgo en los recursos acuíferos y que baje su calidad por sobreexplotación o por mala gestión.

En la Figura 1 podemos ver el uso del agua por sector productivo en Sudáfrica, notamos que un 90% de la demanda de agua se origina entre la agricultura, siendo con un 61% el sector con la demanda más alta (aun así, más bajo que el promedio mundial), y el uso doméstico con un 27%.

Lo que esconde esa estadística es que el agua no siempre está donde la necesitas. Por ejemplo, aunque la demanda de agua generada por la minería es relativamente pequeña, el agua para satisfacerla suele tener un costo mayor por términos de transporte, ya que la mayoría de los recursos mineros en Sudáfrica se encuentran en lugares apartados geográficamente, sin fuentes de agua cerca. Además, la productividad del agua medida en la capacidad de generación de beneficios es mayor en la minería; lo que justifica los mayores esfuerzos en cuanto inversión para garantizar un suministro de agua constante a la actividad minera, que tan solo en el 2do trimestre del 2019 creció un 14% (StatsSa, 2019). Ello nos habla de la importancia estratégica que tiene el sector para el desarrollo nacional. También por eso importa la tecnología que permite un uso más eficiente del agua en la minería, garantizando la posibilidad de reutilización siempre que se tomen las medidas sanitarias e industriales correctas.

Por el contrario, pese a que la demanda de agua para la agricultura es muy alta según se ve en la Figura 1, la agricultura hace paradójicamente un aporte pequeño al PIB de la nación. Aun así, es considerada un sector estratégico para el desarrollo.

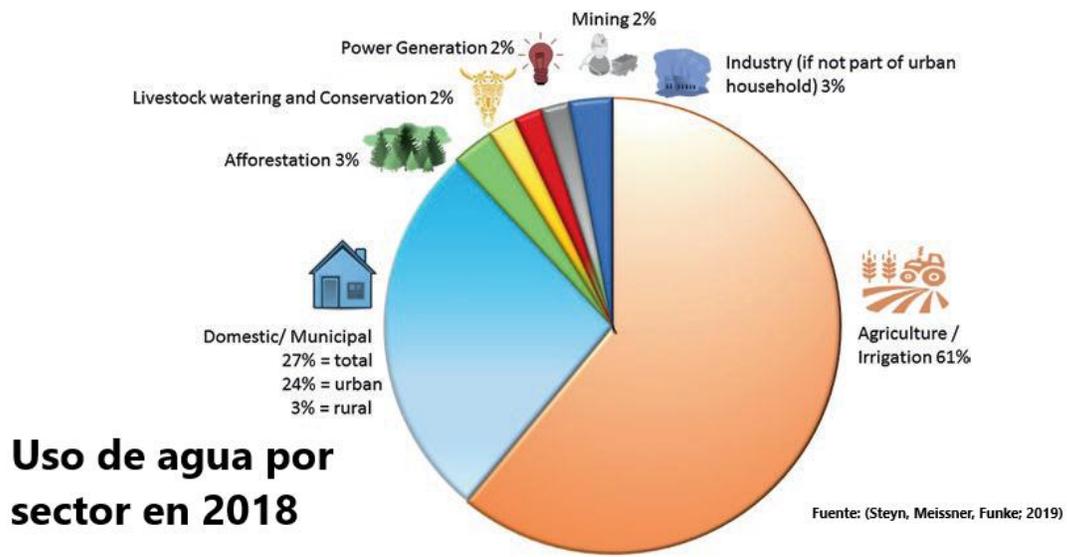


Figura1: Uso de agua por sector en Sudáfrica. Elaboración propia a partir de Steyn Meissner y Funke (2019)

3.2.1. Provincia Zwazulu Natal

ZADA (zona administrativa del agua): Pongola-Mtamvuna

Figura 2: Interpolación de mapas de las ZADAs y provincias de Sudáfrica, elaboración propia a



partir de StatsSa (2017)

Esta provincia cumple las condiciones perfectas del análisis, ya que corresponde casi en su totalidad su mapa territorial con una zona de administración del agua que vendría siendo de uso exclusivo, por lo que la relación entre las actividades económicas y la calidad de los recursos hídricos puede estudiarse de manera más exacta. Además esta es la región con mayor producción agrícola del país (StatsSa, 2018) por lo que podremos establecer cómo funciona la actividad productiva del país que demanda más litros de agua, determinando la importancia de la planificación a la hora de llevar a cabo actividades de siembra extensiva. Las aguas residuales provenientes de las actividades agrícolas y de la cría de animales, pueden llegar a ser altamente contaminantes si no tienen un tratamiento adecuado.

Estableceremos los datos económicos relevantes para el estudio: es la 2da región más poblada de Sudáfrica StatsSa (2011), concentra la mayor cantidad de mano de obra y producción total en agricultura, siendo la provincia que más aporta al PIB en este

ámbito. Paradójicamente en porcentaje del PIB provincial la agricultura solo aporta un 4% StatsSa (2019) lo que se puede explicar debido al crecimiento económico de la zona, que deriva en que una mayor cantidad de recursos vayan a sectores como transporte, construcción y finanzas, que son los mayores beneficiados de las economías en desarrollo, así como el sector servicios en Durban que ha crecido considerablemente en los últimos años.

Gran parte de la agricultura que se desarrolla en esta región es de carácter comunal o de subsistencia, con cosechas comprendidas principalmente por: caña de azúcar, madera, pastoreo. Se realiza con una tecnología primitiva por lo que la productividad será menor con unos mayores costos ambientales, presentes como externalidades negativas que perjudican a la sociedad en su conjunto.

Una de las principales características de esta ZADA es la transferencia de recursos hídricos a la región del Vaal; que se genera a través del río Thukela que es el más largo de la provincia Plessis (2019) y ayuda a la tarea de transportar agua de una de las regiones más húmedas a las más áridas. La ZADA cuenta con 8 represas, una planta desalinizadora que se quiere que venga seguida por la construcción de nuevas plantas, y una planta para la reutilización del agua servida. Hay planes para construir dos represas nuevas, que, si bien ayudarán a proveer al servicio a sus principales ciudades y provincias vecinas, colocará un estrés extra en la calidad del agua Plessis (2019) debido a que una represa implica una redistribución de los recursos hídricos. Habrá ganadores y perdedores, los últimos las sociedades rurales y el medio ambiente.

El reto principal que tiene la ZADA de Pongola-Mtamvuna es el rápido crecimiento de la población de sus dos principales ciudades, Durban y Pietermaritzburg Plessis (2019). Si bien estas ciudades están localizadas cerca de fuentes de agua confiables, su infraestructura para proveer los servicios básicos en los grandes centros urbanos se encuentra en decadencia y requiere una inversión importante para llegar a su nivel óptimo. Caso parecido al de Caracas, que está cerca de varias represas de mediana importancia, pero debido a la falta de atención del sector se pierde mucha agua debido a negligencia en la gestión del recurso por parte de las autoridades. Algo parecido ocurre con los ciudadanos, que al no tener incentivos para ser ahorrativos en su uso del

agua debido a que el servicio es gratuito, incurren en la mala utilización del recurso, tolerando goteras y averías.

En términos de uso neto del agua el recurso se utiliza principalmente en irrigación y reforestación (Plessis, 2019, p. 224). Resalta el caso de algunas plantas que no son originarias de la zona (*alien*). Estas pueden llegar a ser perjudiciales debido a que tienen un alto consumo de agua, son territoriales ya que no permiten que otras plantas crezcan alrededor de ellas y por último cambian los biomas de la vegetación lo que desencadena que zonas que fueron praderas (llanas y sin árboles) pasen a ser bosques, con la alteración de la disponibilidad de los recursos hídricos que eso supone y poniendo en peligro la vegetación originaria de la zona, que es única en el mundo. Dentro de los problemas ambientales que perjudican el agua resalta la erosión, que deriva en impermeabilización de los suelos.

Un total de 375 estaciones de muestreo respaldan la investigación de la ZADA de Pongola-Mtamvuna, comprendidas por 39 presas/represas, 208 ríos, 89 estuarios (desembocadura de un río dulce en el mar), 2 humedales y 37 alcantarillas/tratamientos de agua residual. (Plessis, 2019)

Áreas de riesgo para el uso de la irrigación

Se puede afirmar que los estándares de la calidad del agua son aceptables, con 218 estaciones (58%) que fueron clasificadas sin riesgo y 121 (32%) con un riesgo bajo. Las zonas que clasificaron de riesgo alto tuvieron mediciones de las variables químicas determinadas como inaceptables en términos de calcio, chloride, sodio, amoníaco, nitrato y fosfato. Los ecosistemas afectados fueron un estuario y una planta de tratamiento de agua servida en la localidad de Mvoti, además de dos ríos y tres plantas de tratamiento de agua servida en Thukela (donde está el principal río de la provincia, con una de las principales fuentes de agua de la región) y por últimos 2 ríos y un estuario en Mhlaruze (Plessis, 2019). Las zonas más afectadas en términos de irrigación fueron las que estaban río abajo de las plantas de tratamiento de agua servida, así como las que estaban en la periferia de las zonas urbanas que tienden a tener condiciones de salud y vida inferiores. El problema podría ser evitado si se mejora

la gestión del agua que ya fue utilizada por el ser humano. Esta representa una oportunidad de reutilización de recursos hídricos que aún no es explotada.

Las zonas donde se presenta el riesgo alto para el uso de la irrigación quedan inhabilitadas para los cultivos, debido a los altos valores en minerales que fueron localizados. Ello supone un costo para la sociedad, específicamente para los granjeros que viven en esas localidades, quienes ven cómo sus actividades productivas merman debido a las malas condiciones de los recursos hídricos.

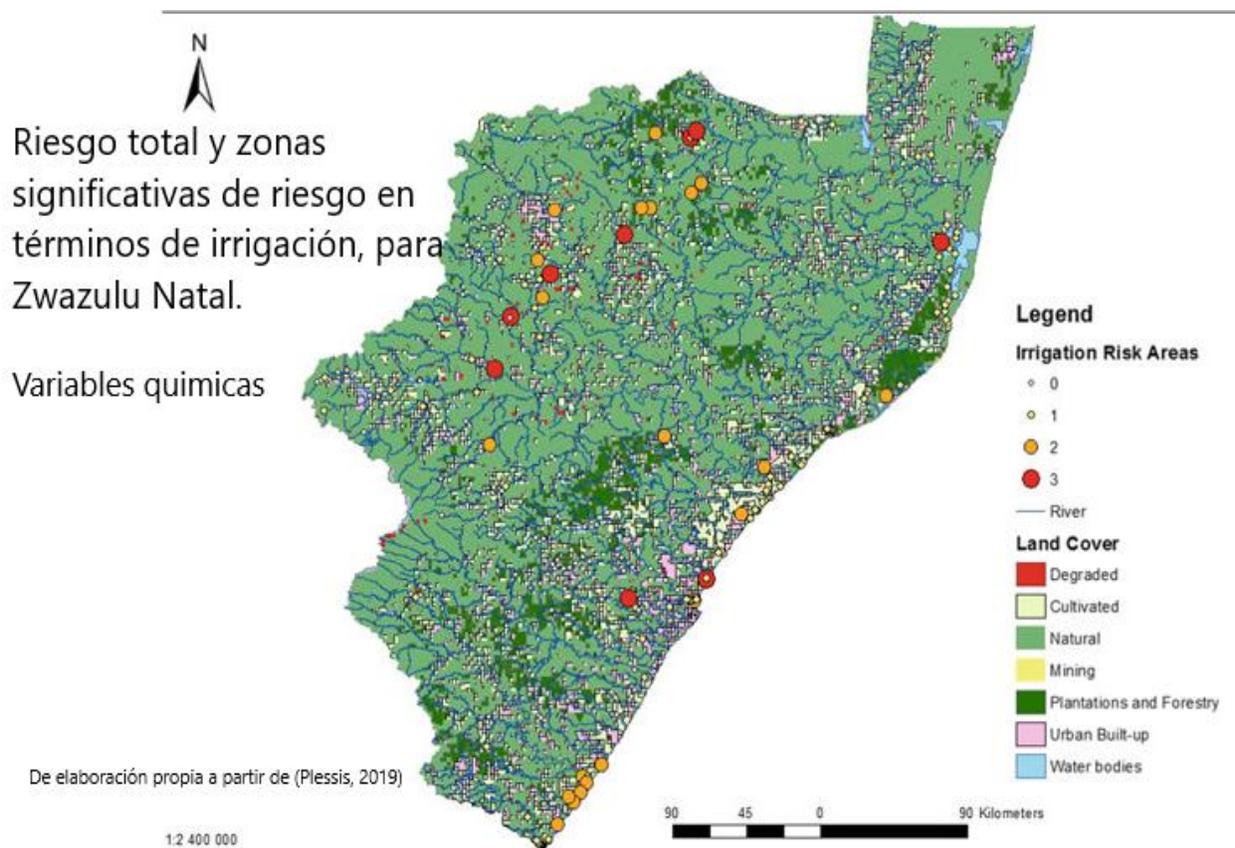


Figura 3 Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de irrigación para Zwazulu-Natal. Variables químicas

En cuanto a los riesgos en la calidad del agua en términos de las variables biológicas, para uso de irrigación un total de 150 estaciones de muestreo fueron medidas para la investigación, estudiando la variable de *Faecal coliform* en la ZADA se determinó un riesgo predominantemente alto a medio. Solamente un 9% de las

estaciones reportó niveles aceptables y ello en una zona aislada geográficamente de la sociedad, (Plessis, 2019) donde no había prácticamente interacción humana, lo que da indicios de la mala gestión en cuanto a la minimización del impacto ambiental.

La calidad del agua superficial fue en su mayoría aceptable, exceptuando las variables de *Clorofila* y *Faecal coliform*. La mayoría de los ríos se encuentra en una situación aceptable y se clasifican en promedio como moderadamente modificados (StatsSa, 2016) siendo los que están cerca de las zonas urbanas los que más sufren de contaminación. Estos últimos son clasificados de largamente a seriamente modificados, por el impacto de las zonas urbanizadas, sus aguas servidas y por su producción industrial.

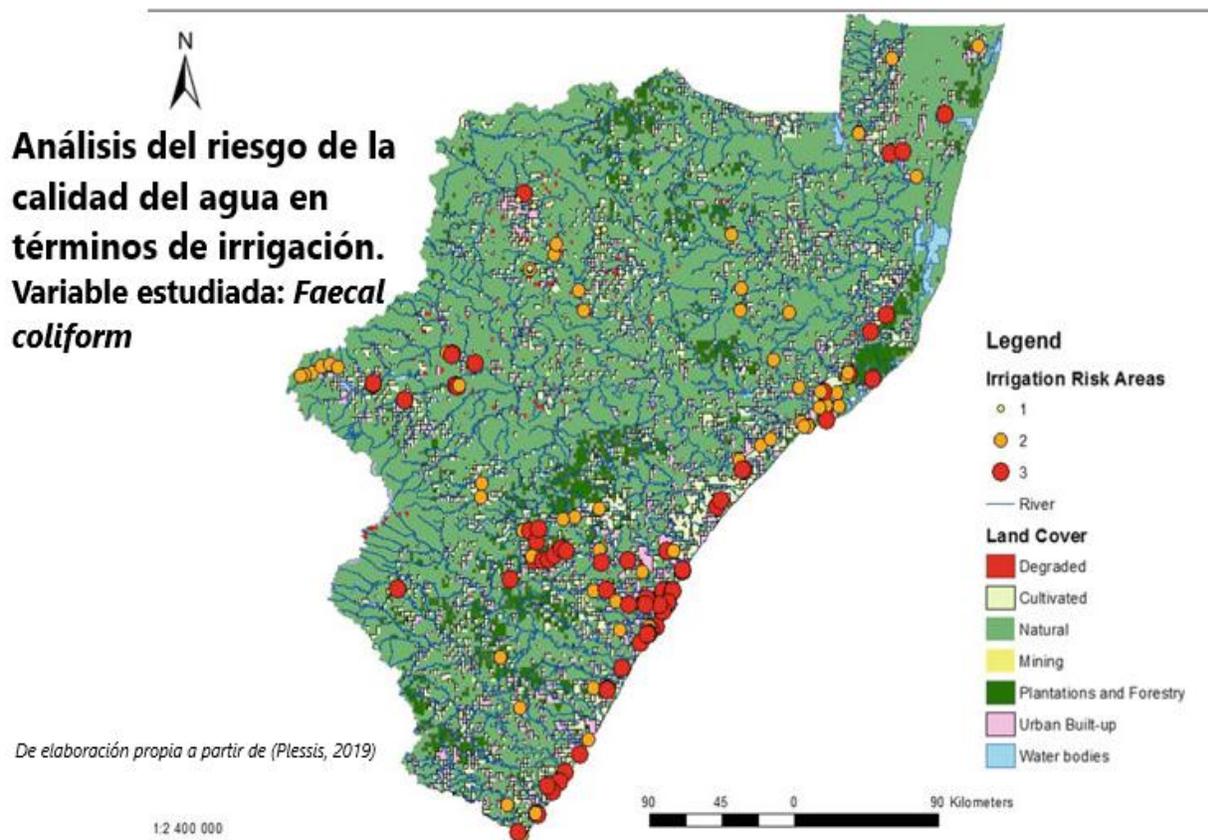


Figura 4. Análisis del riesgo de la calidad del agua en términos de irrigación. Variable estudiada *Faecal Coliform*

Conclusión

Después de haber realizado el análisis comparativo entre la calidad del agua y su riesgo asociado para la irrigación, con sus influencias para el PIB, se determinó que el principal problema que reportaron las estaciones de muestreo en la provincia de Zwazulu Natal, fueron las variables del tipo biológico *Faecal coliform* y *Chlorofila a* (Plessis, 2019) Las cuales ya están empezando a representar un costo en la calidad de vida de las personas, debido a que el agua que consumen está contaminada, lo que puede derivar en problemas graves de salud. En cuanto al *Faecal coliform*, se reportaron niveles altos en la zona del mar donde se quieren construir las nuevas plantas desalinizadoras (Plessis, 2019) lo que representará un costo de inversión mayor para las empresas privadas que están desarrollando el proyecto, ya que el agua que obtendrán estará contaminada por lo que se le tendrá que efectuar un tratamiento para remover el *Faecal coliform* para que tenga estándares de calidad aceptables.

En cuánto a la *Clorofila a* que es el otro gran problema de la calidad del agua en la provincia, de las 375 estaciones de monitoreo 107 midieron niveles de *Clorofila a* durante el período. Las estaciones de muestreo se encontraban cerca de la región costera, en las desembocaduras de los ríos o zonas de agricultura (Plessis, 2019) El riesgo de la calidad del agua fue determinado como medio, con las estaciones de muestreo reportando los siguientes resultados: 2 aceptables, 92 tolerables, 13 inaceptables. Si bien esta variable biológica no afecta los cultivos ni la irrigación representan un riesgo para los estándares de uso a nivel doméstico, además de representar un costo importante a nivel ambiental debido a la eutrofización que produce el crecimiento de algas y cambia el ecosistema de la provincia.

Las pocas estaciones de monitoreo que reportaron variables químicas alteradas con un riesgo determinado como alto, lo hicieron en gran medida presentando niveles altos de sal en el agua, lo que puede derivar en la salinización de los recursos hídricos, trayendo también la salinización del suelo y su posterior pérdida de fertilidad para los cultivos o para la vegetación en estado natural.

El lado positivo del análisis de la calidad del agua en la provincia es que si bien tienen niveles elevados de contaminación vía organismos biológicos (*faecal coliform* y

clorofila a) las causas que originan el problema tienen una solución sencilla que es mejorar los centros de tratamiento de las aguas residuales ya existentes, lo que no requiere un presupuesto demasiado elevado para la inversión, además creando solo unos cuantos nuevos centros se puede dar solución al problema de las variables biológicas. El otro aspecto positivo es que en general la calidad del agua para los estándares de irrigación es bastante buena, lo que se traduce en la elevada producción agrícola, la más alta y eficiente en promedio del país (StatsSa, 2019). Si bien la agricultura es de subsistencia o de tipo comunal en algunas áreas, estas han administrado sus recursos hídricos de manera casi óptima, ya que minimizan el impacto ambiental de sus actividades productivas, garantizando de esta manera que su sector sea viable a través del tiempo, porque supieron gestionar el agua para que esta tenga carácter renovable. Por lo que en este caso particular aunque hay varias zonas muy pobres donde la agricultura es realizada sin ningún tipo de regulación, esto no se tradujo en un mayor impacto ambiental en términos de agua.

3.2.2 Provincia de West Cape

ZADAs bajo análisis: Berg-Olifants y Breede- Gouritz

Es la cuarta región más poblada del país con un 11,2% total de la población, pero tiene una concentración demográfica urbana alta, ya que concentra casi el total de su población en su asentamiento principal Ciudad del Cabo, que es la segunda ciudad más poblada del país. La provincia concentra una gran parte de la riqueza nacional con un PIB per cápita un 20% mayor al promedio del país (segundo mayor); siendo la tercera región que más aporta al PIB nacional con un 13,6% del total StatsSa(2019)

La provincia tiene la segunda mayor producción agrícola, con grandes extensiones de siembra mucho más desarrolladas tecnológicamente que en Zwazulu Natal; ya que la producción se lleva a cabo con mayores inversiones de capital, lo que deriva en que la productividad sea mayor y en que la mano de obra requerida para llevar a cabo la actividad tenga menor demanda. La región es diversa geográficamente, tiene una de las zonas más áridas del país donde no hay vegetación; pero predomina la del tipo *fynbo* que es endémica y típica de la zona, única en el mundo Sanbi(2006) caracterizada por ser matorrales de baja altura, con un período de floración que deriva

en su comercialización y que produce grandes beneficios para los granjeros locales, que están empezando a ver un negocio cada vez más lucrativo con sus flores. Los *Fynbos* del Cabo por ser únicos en el mundo son considerados como patrimonio de la humanidad.

Si bien la región tiene una tendencia demográfica clara, donde vemos que la mayoría de la población está concentrada en Ciudad del Cabo, la producción agrícola en la provincia no comparte esa tendencia, debido a que las cosechas se encuentran distribuidas a lo largo de la provincia (con excepción de las zonas netamente áridas). Los productos agrícolas están comprendidos principalmente por cítricos, uvas de mesa, papas, trigo, canola, manzanas así como otras frutas en menor porción; también destaca la producción vinícola.

Como veremos en el posterior análisis de las dos ZADA de la provincia, las cosechas estarán condicionadas por la disponibilidad de agua en cada una, considerando que hay cosechas como la uva y manzana que demandan más agua. Por último es importante destacar la naturaleza económica de la provincia, donde la agricultura aporta solo un 3,5% al PIB ¿Por qué teniendo la segunda producción agrícola de la nación aporta tan poco al PIB? Esto se explica estudiando los otros sectores productores de bienes y servicios, como el de finanzas que aporta 27% o el de manufactura 12% StatsSa (2019) donde la inversión es intensiva en capital y la productividad más alta, lo curioso es que varios de los productos agrícolas forman parte de la cadena de producción en la manufactura, como es el caso de los bio-combustibles que demandan grandes cantidades de cosechas para su producción, representando una posibilidad de energía alternativa aún no explotada en el continente y que se está empezando a generar en la región. Sin contar que los activos de producción agrícola son uno de los motores de las finanzas en Ciudad del Cabo, donde la compra-venta de opciones y futuros de commodities mueven grandes grupos de inversores MerchantWest (2019) por lo que la agricultura en el caso de esta provincia funciona como un claro potenciador de la economía en sus tres sectores productivos, lo que no se ve explícito en el cálculo de las cuentas provinciales.

La provincia cuenta con la planta nuclear Koeberg, que se encuentra localizada a 30km de ciudad del Cabo y es la única de este tipo en el continente africano. Es administrada por la empresa pública de Eskom, la cual asegura que la planta tiene todas las condiciones antisísmicas necesarias para su funcionamiento; lo cual se ha vuelto cada vez de mayor relevancia puesto que hay zonas residenciales muy cerca. El reactor nuclear es enfriado con agua que es bombeada desde el océano atlántico, a una velocidad de 80 toneladas por segundo Wikipedia; habiendo información muy escasa sobre el impacto ambiental que genera. La generación eléctrica del tipo nuclear abarca un 5,2% de la energía total generada, siendo la segunda fuente más importante de energía por detrás del carbón StatsSa (2017)

3.2.1 ZADA Berg- Olifants

Está comprendida por el territorio del extremo suroccidental del país, su principal misión es la de proveer de agua a la Ciudad del Cabo, que es un demandante importante de recursos hídricos en cuanto a términos domésticos, con una industria turística en desarrollo que cada vez demanda más agua, así como unos estándares de vida que mantener, que se vieron amenazados con las sequías entre 2015 y 2017 que supusieron un racionamiento de agua de 50 litros por persona, impuesto por la ZADA (que en varios sitios de la ciudad repartía el agua en camiones cisterna) Aporrea(2019) Siendo su principal proveedor de recursos hídricos las cuencas del río Berg, este es el principal encargado de proveer agua a Ciudad del Cabo. También tenemos al río Olifants con agua de procedencia montañosa, que es transportada a los poblados secundarios de la región, que son los encargados de la agricultura comercial extensiva, las granjas y las industrias de procesamiento y empaquetado de alimentos Plessis(2019).

Los recursos hídricos superficiales se encuentran completamente desarrollados en la ZADA, lo que supone que aumentar su estrés derivaría en gastos ambientales graves, por lo que harán falta mayores avances en la infraestructura en cuanto a la conservación del agua, su reutilización, desalinización y explotación del agua subterránea que hasta los momentos no está en uso; para garantizar los servicios a una

economía local que está creciendo y que atrae un flujo migratorio, con una mayor demanda de agua para uso doméstico.

Las estaciones de muestreo del agua superficial, concentran sus redes en la región sur de la provincia, debido a que es la parte con la densidad poblacional más alta y con la mayor cantidad de recursos hídricos, recordamos que el norte de la región es netamente árido. La investigación está respaldada con un total de 181 estaciones de muestreo que incluyen; 5 presas/represas, 91 ríos, 12 manantiales, 17 estuarios/lagunas, 56 centros de tratamiento de agua residual. Plessis (2019)

Áreas de riesgo en términos de irrigación

Se puede afirmar que los estándares de calidad del agua en términos de irrigación son aceptables, ya que predomina un riesgo bajo en las mediciones. Un total de 76 estaciones de muestreo (42%) fueron clasificadas sin riesgo y 59 (33%) de riesgo bajo. La mayoría de las áreas con un riesgo significativamente alto, fueron encontradas cerca de la cuenca del río Berg con 11 ríos, 1 manantial y 18 plantas de tratamiento de agua residual, que fueron determinados con un riesgo en la calidad del agua como medio y 12 plantas de tratamiento de agua residual con un riesgo alto. La misma tendencia es observada en la cuenca del río Olifant, donde 3 de sus 4 plantas de procesamiento de agua residual son consideradas de riesgo medio y la otra restante de riesgo alto. Plessis (2019)

Esta distribución del riesgo en términos de irrigación en la ZADA, deriva en que los cultivos que estén cerca de las zonas determinadas como de riesgo alto o mediano, que son las que están cerca de las plantas de tratamiento de agua servida; tengan niveles tolerables a inaceptables de CE, calcio, chloride, sodio, amoníaco, nitrato y fosfato. Plessis(2019) que derivan en que la salinidad del suelo sea mayor, con la pérdida de productividad que eso supone, ya que si los suelos no reciben un buen uso en el caso de la provincia probablemente derive en desertificación de los mismos.

Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de irrigación para Berg-Olifant

De elaboración propia a partir de Plessis (2019)

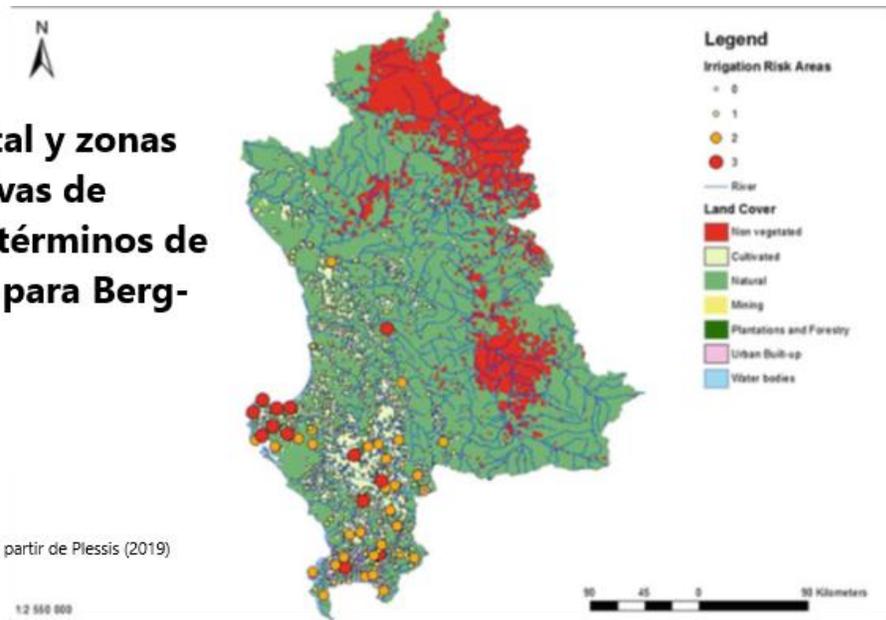


Figura 5. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de irrigación para Berg Olifant; de elaboración propia a partir de Plessis 2019

En cuanto a los riesgos en la calidad del agua en términos de las variables biológicas, para uso de irrigación un total de 127 estaciones de monitoreo fueron contabilizadas. La mayoría de las muestras fueron recogidas cerca de la cuenca del río Berg, cerca de Ciudad del Cabo. Se determinó que la ZADA tiene en promedio un nivel inaceptable, del parámetro biológico *faecal coliform* en términos de irrigación, con 84 estaciones de muestreo (66%) contabilizando niveles inaceptables del parámetro y 43 estaciones (34%) niveles tolerables Plessis(2019). Las zonas con una calidad del agua que tenían un riesgo alto, fueron localizadas cerca de las zonas urbanizadas y río abajo de los cultivos, que no tienen un tratamiento especializado para tratar a los parámetros biológicos. Plessis (2019)

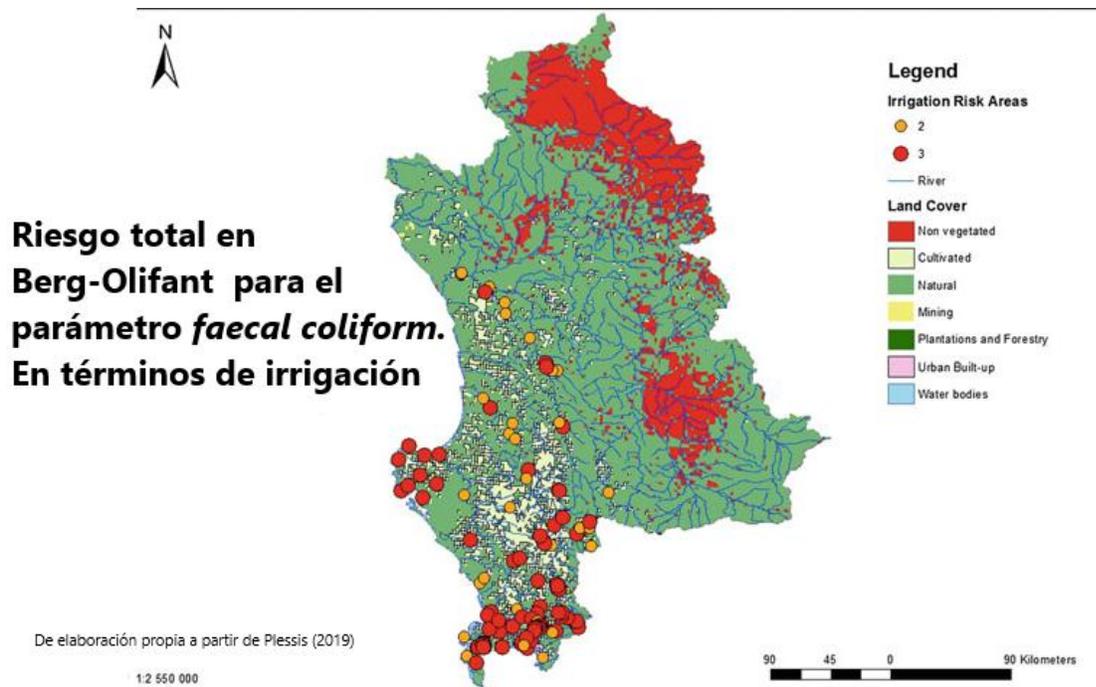


Figura 6 Riesgo total en Berg Olifant para el parámetro *faecal coliform*. En términos de irrigación

Los agricultores tienen que considerar que gran parte del agua que utilizan no es apta para sus cosechas, hasta remover los parámetros biológicos que se encuentran en ella, porque de no hacerlo pueden contaminar los cultivos; por lo que hay un costo económico claro en términos de purificación del agua. Por otro lado la parte baja de la cuenca del río Olifant (de la cual se provee de agua gran parte del sector agrícola de la provincia) posee niveles inaceptables de salinidad, que se le atribuye a los parámetros químicos que alteran la composición del agua, provenientes de los pesticidas utilizados en la actividad agrícola, por lo que los agricultores de la provincia deberían poner mayor cuidado a sus recursos hídricos, para garantizar la sustentabilidad de su negocio y el gobierno promover el uso responsable de los pesticidas que minimicen el impacto ambiental, así como la reutilización del agua en la agricultura.

Concluyendo el análisis de la ZADA: la mayoría de los niveles inaceptables en término de parámetros tanto químicos como biológicos, es producido por la falta de planificación en los asentamientos urbanos que ven como sus plantas de aguas residuales contaminan sus principales fuentes de recursos hídricos, la mayoría de sus ríos se ven modificados por la agricultura y por los desechos de las ciudades; la mitad

de la ZADA tiene recursos hídricos superficiales considerados bajo estrés y requieren tratamiento para mejorar su condición Plessis (2019)

La capacidad de absorción que tiene el agua superficial para absorber el impacto de una sequía, se vio fuertemente comprometido en el período de 2015-2017 ya que varias de las represas no han recuperado su nivel óptimo de funcionamiento; esta capacidad se verá aún más afectada si no se para la contaminación en la región, que ve como su medio ambiente sufre debido a una combinación de factores que van desde la sobre explotación de los recursos hasta eventos aleatorios ambientales como la sequía; que merman las actividades productivas de sus ciudadanos.

Por último la ZADA carece de un número significativo de estaciones de muestreo que midan la variable biológica de clorofila a, habiendo solo 4 de estas (número mínimo aceptado por la regla de 4 por 4) por lo que las conclusiones que se puedan sacar en cuanto a este parámetro estarán muy limitadas, de las 4 estaciones 2 midieron niveles aceptables y 2 tolerables Plessis (2019); por lo que a primera vista pareciera que la zona se encuentra bien en términos de ese parámetro y no corre peligro de contaminación por eutrofización; de igual manera hará falta invertir en un mayor número de estaciones de muestreo o equipando las que ya hay para que puedan medir ese parámetro buscando aumentar la población de datos.

ZADA Breede- Gouritz

La zona geográfica de la ZADA está comprendida casi en su totalidad por la parte oriental de la provincia del Cabo del Oeste; así como una porción pequeña de la provincia del Cabo del Este y del Norte. Pero la mayor demanda de agua en términos de producción agrícola e industrial se la lleva la provincia más rica en términos de PIB y PIB per cápita (Cabo del oeste).

La mayoría de la población de la ZADA vive en condiciones rurales, la mayoría con unos estándares de vida altos pese a su condición rural; debido a que varias de las granjas de la zona tienen una herencia de más de 400 años de trabajo en su región MerchantWest (2019), debido a que varios de sus ancestros eran agricultores y campesinos provenientes de los Países Bajos, que al no tener tierras para producir en

su país vieron en África la posibilidad de tener sus propias cosechas y darle sustento a su vida.

La ZADA se divide en dos establecimientos siendo la que más provee de agua la zona de Breede-Overberg que está compuesto principalmente por montañas, colinas y un valle, donde descansa el río Breede, que fluye hasta dos de las principales represas de la provincia Brandvlei y Theewaterskloof; Plessis(2019) también destaca la existencia de pequeñas represas que crean las granjas para proveer de recursos hídricos a su producción, muchas de ellas sin la autorización del estado ni ningún tipo de planificación ambiental, lo que coloca un estrés extra en los ríos de la zona. El establecimiento tiene una tendencia de volverse más salino, debido a la utilización de fertilizantes en la irrigación extensiva y el agua filtrada de las cosechas terminó por afectar al agua superficial Plessis (2019).

El otro establecimiento de la región es Gouritz que tiene un río del mismo nombre que es el principal de la ZADA, por ser el que más agua tiene y alimentar varias de las represas de uso comercial. Los recursos al haber sido sobre explotados, no existe la posibilidad de redistribuirlos a otro lugares, ya que esto supondría un impacto para la naturaleza difícil de absorber y derivaría en daños ecológicos graves Plessis (2019). La región de Gouritz dispone de varias tierras arables, pero que debido a la inconsistencia de las lluvias así como un fuerte período de sequía entre 2015 y 2017, no se encuentra en su punto óptimo de explotación agrícola y hay mucha incertidumbre sobre la sustentabilidad en el tiempo del sector. Sin embargo la región está empezando la planificación para usar sus fuentes de agua subterráneas, que hasta los momentos no han sido explotadas; si bien es cierto que la extracción y transporte del agua subterránea supone un costo económico mayor, le da esperanza a la región de que puede seguir creciendo poblacional y productivamente.

Las dos subregiones se caracterizan por tener reservas nacionales de flora y fauna silvestre donde no está permitido hacer construcciones que no sean para uso científico, como el parque nacional Kogelberg; que anualmente atrae muchos turistas debido a la fauna exótica de la región y personas que buscan retirarse en sus poblados secundarios, debido a la tranquilidad que estos tienen y los altos estándares de vida. La

ZADA produce el 70% de las fynbos de Sudáfrica Plessis (2019), flores que en las zona son denominadas como oro blanco. Sanbi (2006)

La actividad de monitoreo de la calidad del agua está concentrada en: sus ríos principales, cerca de las actividades productivas que usan los recursos hídricos y cerca de los asentamientos urbanos. Un total de 249 estaciones de muestreo respaldan la investigación, se estudiaron 29 presas/represas, 140 ríos, 10 manantiales, 31 estuarios/lagunas, 1 humedal y 38 plantas de procesamiento de agua residual Plessis (2019)

Áreas de riesgo en términos de irrigación

La calidad del agua fue determinada como una combinación de riesgo bajo y medio. Un total de 98 estaciones de muestreo (39%) fueron determinadas sin riesgo, 76 estaciones (31%) de riesgo bajo, 50 estaciones (20%) de riesgo medio y 25 estaciones (10%) de riesgo alto. La mayor cantidad de zonas de riesgo medio están concentradas en las instalaciones cercanas del río Gouritz, con 9 ríos, 3 represas, 15 lagunas/estuarios y 6 plantas de procesamiento de agua residual, que fueron determinadas de riesgo medio y 3 plantas de procesamiento con un riesgo alto. Plessis (2019)

En cuanto al establecimiento de Breede aquí se concentran la mayoría de zonas de riesgo altas con 2 ríos, 1 humedal, 2 lagunas /estuario y 17 plantas de tratamiento de agua servida con esta clasificación; también tiene 12 ríos y 5 plantas de procesamiento de agua servida clasificadas de riesgo medio Plessis (2019). Las áreas cultivadas que se encuentren cerca o río abajo de estas estaciones de muestreo con riesgo mediano o alto, deben tomar precauciones en cuanto a los parámetros químicos que se encontraron en el análisis con concentraciones entre tolerables e inaceptables de CE, amoníaco, nitrato y fosfato; las cuales derivan en la salinización de los recursos hídricos y posteriormente de los suelos, lo que puede traducirse en pérdidas económicas ocasionadas por las pérdidas de cultivo.

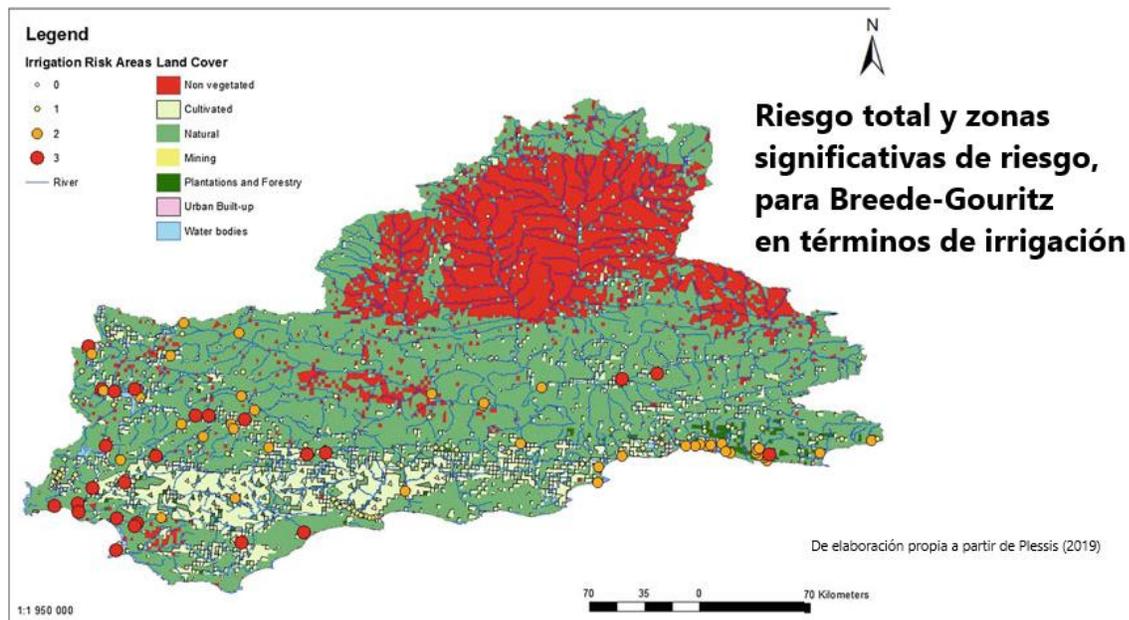


Figura 7. Riesgo total y zonas significativas de riesgo para la ZADA de Breede-Gouritz en términos de irrigación

En cuanto a los parámetros biológicos en términos de irrigación, se midieron niveles de faecal coliform que iban desde lo tolerable a inaceptable; habiendo 64 estaciones de muestreo que reportaron niveles tolerables y 54 con niveles inaceptables Plessis (2019). En el caso de esta ZADA los niveles altos de faecal coliform se explican por la escorrentía de las heces de animales que terminan en las fuentes de agua o río, ya que hay mucha diversidad de animales en la zona, y los safari son una actividad turística esencial para el sustento de las economías locales. Los niveles altos también son explicados por la falta de planificación en las plantas de agua servida, que carecen de las propiedades para tratar a este parámetro removiéndolo del agua.

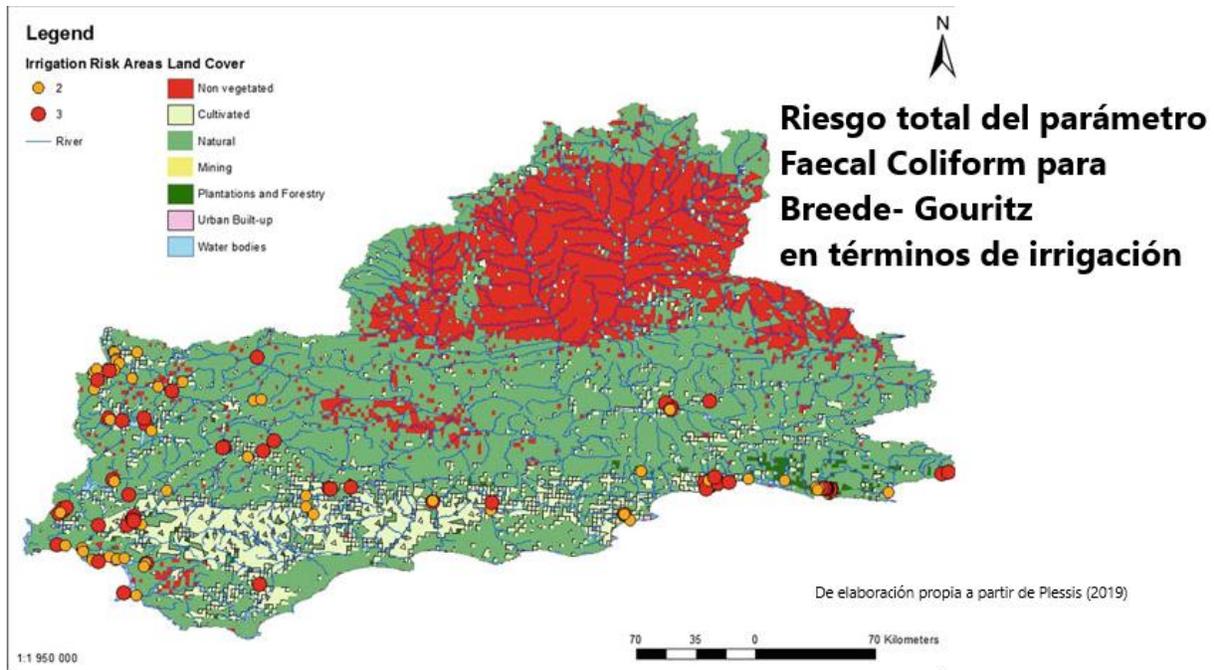


Figura 8. Riesgo total del parámetro Faecal Coliform en la ZADA de Breede Gouritz en términos de irrigación

Concluyendo se determinó que la ZADA tiene un estrés en el agua predominantemente alto, que se espera que se siga aumentando debido a las presiones por recursos hídricos nuevos que impone el crecimiento económico de la provincia; por lo que si no se buscan fuentes alternativas de agua, tales como la subterránea que tiene una explotación casi nula, la ZADA se volverá más vulnerable a los impactos del medio ambiente, maximizando las sequías por ejemplo que se espera que se vuelvan más fuertes. A su vez es necesario que se invierta en nuevas estaciones de monitoreo, debido a que en el caso de algunos parámetros estas no son suficientes para sacar conclusiones robustas acerca de las zonas de riesgo. En el caso de la Clorofila A nada más hay 19 estaciones de monitoreo, que considerando la naturaleza de la provincia que tiene muchas zonas naturales con importantes reservas ecológicas y hasta un patrimonio natural de la humanidad (las Fynbos) necesita mayor cantidad de recursos de medición de los parámetros del agua, para tener la información necesaria de las medidas pertinentes para conservar al ecosistema y permitir un desarrollo económico sustentable en el tiempo.

Por último destaca la situación de los ríos en la ZADA de Breede-Gouritz que son considerados como largamente modificados, siendo los que se encuentran en la segunda peor situación de Sudáfrica StastSa(2015). Lo que se explica principalmente por los parámetros biológicos ya expuestos y por la falta de tratamiento del agua que ya fue utilizada en la agricultura y que al no recibir el trato adecuado termina por contaminar los recursos hídricos.

Notamos un fuerte contraste entre las dos ZADAS que componen a la provincia del Cabo del oeste, las zona donde está concentrada la mayor cantidad de riqueza cuenta con las mejores instalaciones de tratamiento de agua servida (Ciudad del Cabo) lo que se refleja en que las zonas de riesgo en términos de irrigación tenga un valor menor en la ZADA de Berg Olifant sobre las de Breede Gouritz; por lo que hay una fuerte correlación demostrada en el análisis de esta provincia entre zonas de riesgo alto y población rural, dos variables que demostraron ir juntas en este caso.

Otra relación importante que se demostró en las dos provincias con mayor producción agrícola del país (Cabo del Oeste y Zwazulu Natal) es que no siempre niveles más grandes de riqueza o inversiones más grandes en términos de producción agrícola, derivan en que la calidad del agua sea más alta. Debido a que las siembras tradicionales y comunitarias en Zwazulu Natal demostraron ser más amigables con el ambiente, teniendo una minimización mayor del impacto ecológico y siendo más sustentables a través del tiempo, demostrando que colocan menos estrés en los recursos hídricos. La diferencia de calidad del agua radica en que, en la provincia del Cabo del Oeste, al ser las cosechas del tipo extensivas requieren mayor uso de fertilizantes para garantizar la producción, además que al abarcar grandes cantidades de terreno se les dificulta más aplicar prácticas del uso sustentable de los suelos, tales como la rotación de los cultivos que son esenciales para evitar la erosión y posterior impermeabilidad. Recordemos también que la disponibilidad de agua varía en las dos regiones.

Por lo que podría abrirse un debate centrado en lo económico, que trate de determinar ¿cuál de los modelos productivos es más eficiente y/o deseable en el corto y

largo plazo? El que tiene beneficios mayores a costa de un daño ambiental elevado o el que sacrifica su productividad alegando mayor sustentabilidad ambiental.

3.2.3 Provincia de Gauteng

ZADAS: Vaal y Limpopo

Estamos en presencia de la provincia más productiva del país, acapara un 34,5% de la producción de bienes y servicios StatsSa (2019); entre los que destaca la generación de electricidad, llevada a cabo por una de las pocas plantas que es de propiedad privada la Estación Eléctrica de Kelvin, que funciona a través de la combustión de carbón. La planta fue propiedad de la ciudad de Johannesburgo hasta 2001, hasta que se determinó que lo más eficiente era privatizarla, sus dueños actuales son el grupo Investec y Nedbank capital. La capacidad productiva de la planta cuenta con dos sub estaciones una al lado de la otra, la estación A tiene 6 generadores de 30MW y el B 70 generadores de 60MW, Wikipedia (2019). La generación eléctrica es suficiente para generar un excedente que es destinado al comercio con otras provincias o naciones del sur del continente. De la electricidad total vendida por cada municipio un 15% proviene de Johannesburgo, generando importantes ingresos fiscales. StatsSa(2019) demostrado en anexos

Es la provincia más pequeña del país, pero concentra el mayor número de habitantes con un 24% de la población casi la cuarta parte, con una tendencia migratoria hacia sus principales ciudades que resulta en un aumento de la densidad demográfica. Los habitantes de la provincia tienen un PIB per cápita un 28% mayor al promedio nacional, lo que nos habla de la concentración de riqueza presente en sus ciudades. Está claro que la distribución del dinero entre sus ciudadanos es quizás la más dispareja del mundo; lo que se puede ratificar con el coeficiente de Gini de Sudáfrica que es el más alto conocido con 0.63 BancoMundial (2014). Siendo Pretoria y Johannesburgo las ciudades más prósperas del país, podemos intuir que son las que presentan mayores disparidades del poder adquisitivo entre sus habitantes, porque recordamos que el crecimiento económico en los países en vía de desarrollo produce desigualdad social. ProfGuevara (2018)

Cuando analizamos la participación de la provincia en las actividades productivas de la economía (Imagen de abajo), vemos que hace los mayores aportes en términos de producción eléctrica, construcción, manufactura, comercio, finanzas, sector público. Con sus principales ciudades (Johannesburgo y Pretoria) teniendo una productividad del capital, considerablemente más elevada que en el resto de las regiones, lo que se traduce en su eficiencia generando bienes y servicios. Un 20% de toda la deuda pública está concentrada en el municipio de Johannesburgo, lo que se explica principalmente en los gastos gubernamentales en términos de salud. StatsSa (2017) en el anexo.

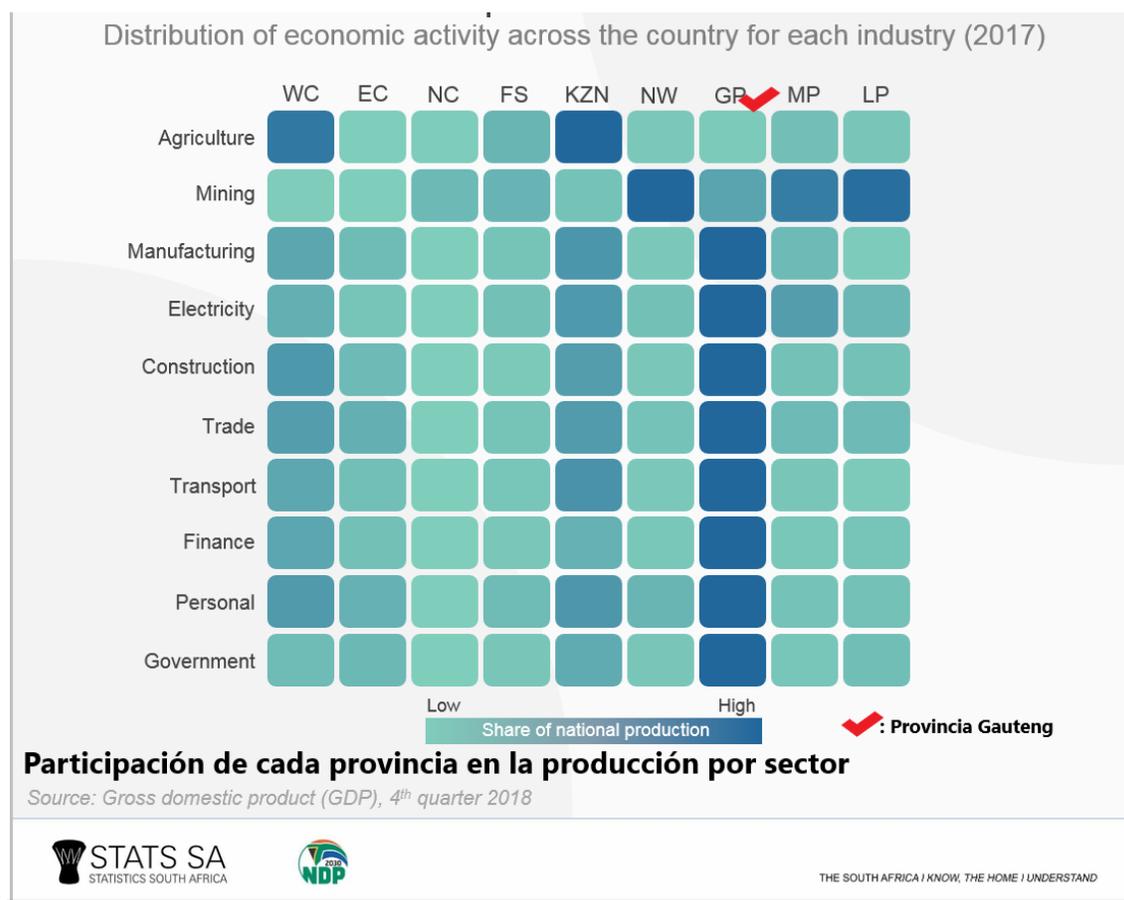


Figura 9. Participación de cada provincia en la producción por sector

ZADA Vaal

Es la más extensa geográficamente del país, su función principal es la de garantizar las actividades económicas de sus provincias y los usos domésticos de 12 millones de personas. El río Vaal que le da nombre a la ZADA fluye por 1415km

atravesando países y provincias en su recorrido Plessis (2019). Hay motivos para pensar que es el río que tiene sus recursos hídricos más desarrollados y regulados del país, capaz de todo el Sur del continente, presentando oportunidades de cooperación entre los tres países por donde fluye. Una de principales características de la ZADA son las transferencias de agua que recibe de Lesoto (país vecino que es un enclave) y la transferencia que manda hacia Olifant a través de sus instalaciones de agua en Crocodile west Plessis (2019)

La ZADA supe de agua a la mayor parte de la provincia de Gauteng, incluyendo las plantas Eskom de generación eléctrica y varias zonas mineras en otras provincias diferentes a la del estudio. La ZADA se divide en tres sub regiones la parte baja, la parte media y la parte alta del Vaal. Plessis (2019). Para términos de la investigación enfocaremos nuestros esfuerzos de estudio para la parte alta, ya que aquí se concentran las actividades productivas y la mayor parte de la población; debido a la característica de la provincia, analizaremos los parámetros de calidad del agua en cuanto a los estándares industriales y domésticos.

En cuanto a las estaciones de muestreo, la mayoría se encontraban en la parte alta del Vaal, ya que es la más relevante económica y socialmente. Un total de 382 estaciones respaldan el análisis, con 39 represas/barreras, 221 ríos, 7 manantiales, 114 plantas de tratamiento de agua servida. Plessis (2019)

Áreas de riesgo para uso doméstico

La ZADA resultó ser predominantemente de riesgo bajo, en cuanto a la calidad del agua para términos de uso doméstico. La mayoría de las estaciones de muestreo reportó niveles aceptables en los parámetros químicos y físicos del agua; 206 estaciones (54%) fueron determinadas sin riesgo, 96 estaciones (25%) de riesgo bajo; 39 (13%) de riesgo medio y el restante 8% de riesgo alto. Las zonas de riesgo alto y mediano están constituidas principalmente por ríos contaminados de las actividades industriales, así como por las plantas de tratamiento de agua servida que no tienen lo necesario para minimizar el impacto antropogénico.

Es de notar que las plantas de procesamiento de agua servida no cumplen con los estándares mínimos que permitan, una calidad del agua aceptable. Todas las

instalaciones de este tipo en el Vaal del medio midieron niveles altos o medianos de riesgo. Mejorar los estándares de calidad debería ser una de las prioridades de la ZADA para evitar que el agua residual, contamine el resto de los recursos hídricos generando impactos negativos para el resto de los usuarios.

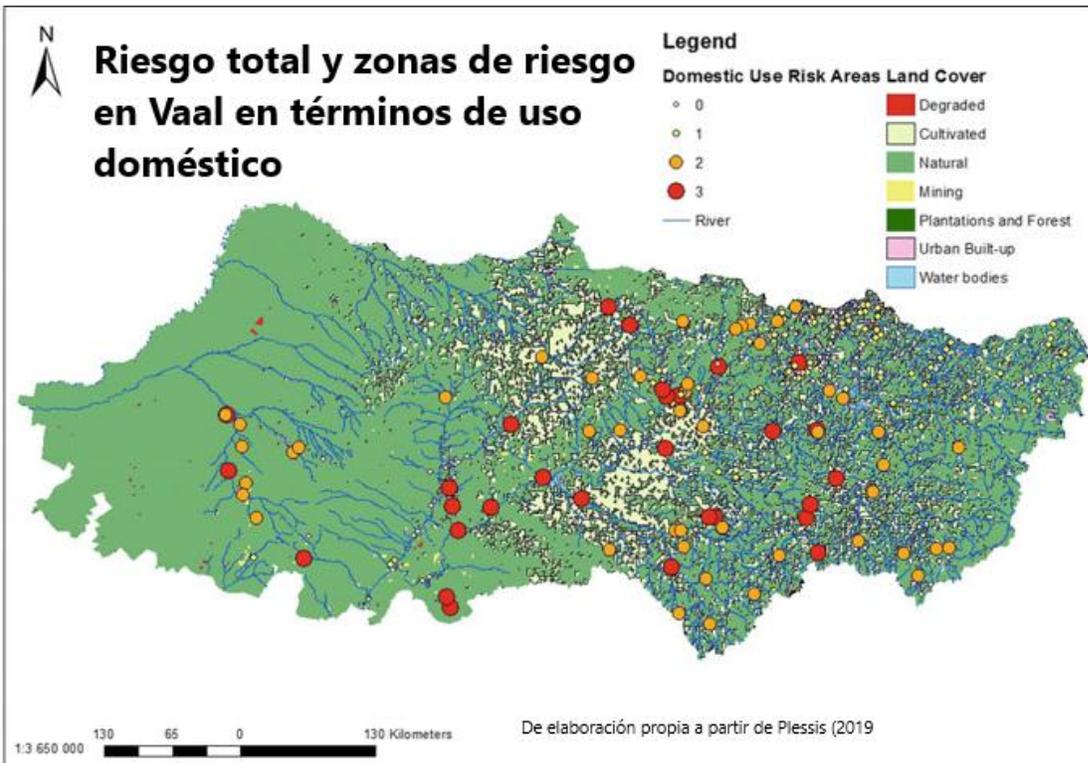


Figura10. Riesgo total y zonas de riesgo en Vaal, en términos de uso doméstico (parámetros químicos)

La clorofila A es conocida por tener un impacto silencioso en las actividades productivas del país debido a que no afecta la calidad del agua en términos de irrigación, ni industriales; pero el caso del agua para uso doméstico es diferente. La calidad del servicio hídrico se ve afectado negativamente debido a altos niveles del parámetro biológico, habiendo 30 de 37 estaciones de muestreo que midieron niveles inaceptables del parámetro, determinando un riesgo alto, las otras 7 estaciones midieron niveles tolerables de Clorofila a determinando un riesgo medio. La mayoría de las zonas con riesgo alto se encuentran localizadas río abajo de los asentamientos urbanos, industrias mineras, zonas cultivadas y plantas de procesamiento de aguas servidas Plessis (2019). Hará falta mayor número de estaciones de muestreo para

determinar las posibles causas de la eutrofización producto de los niveles altos de la Clorofila a.

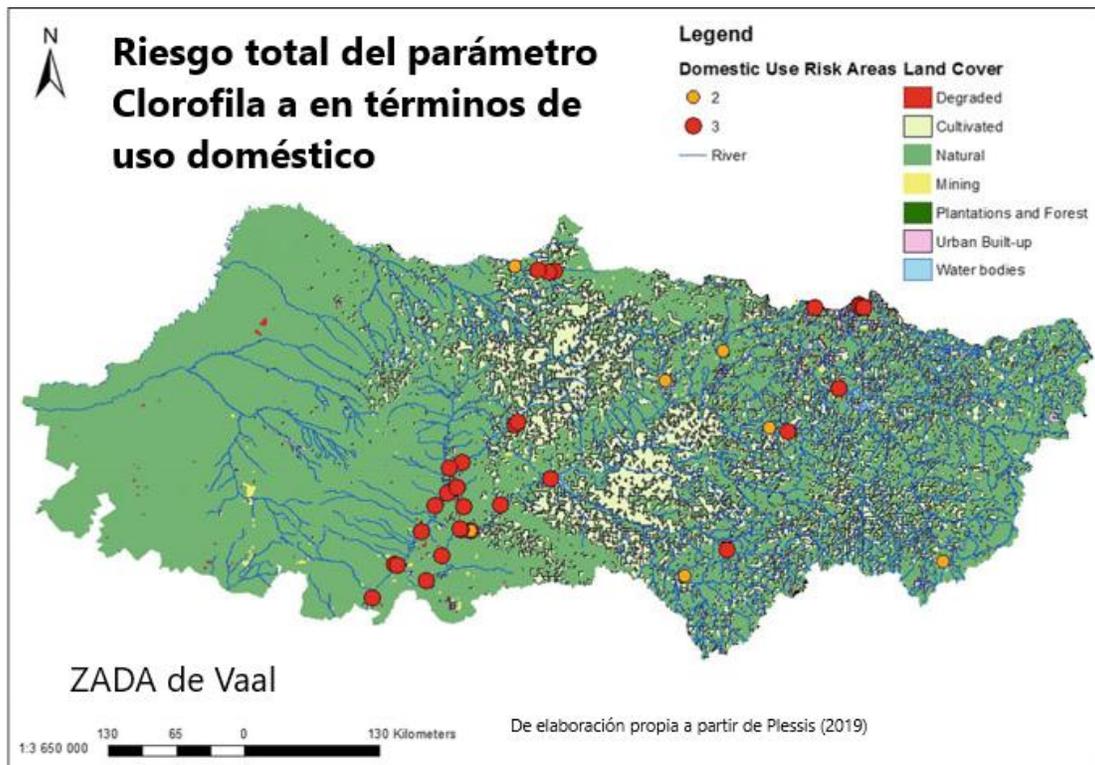


Figura 11. Riesgo total en Vaal del parámetro Clorofila a, en términos de uso doméstico

La ZADA tiene problemas serios con el Faecal coliform teniendo 328 de 339 estaciones con niveles inaceptables siendo un (98%) de la zona que fue tomada en cuenta para el análisis Plessis (2019). Lo que deriva en que el agua que consumen las personas en sus casas para bañarse, comer y beber; tenga requerimientos imprescindibles de saneamiento, para que se transforme en apta su uso; costo económico que es asumido por el gobierno ya que controla el monopolio de la distribución del agua. También podemos afirmar que los ciudadanos de la zona, verán como su salud es afectada por la calidad del agua de la que disponen; generando mayores gastos médicos en el futuro.

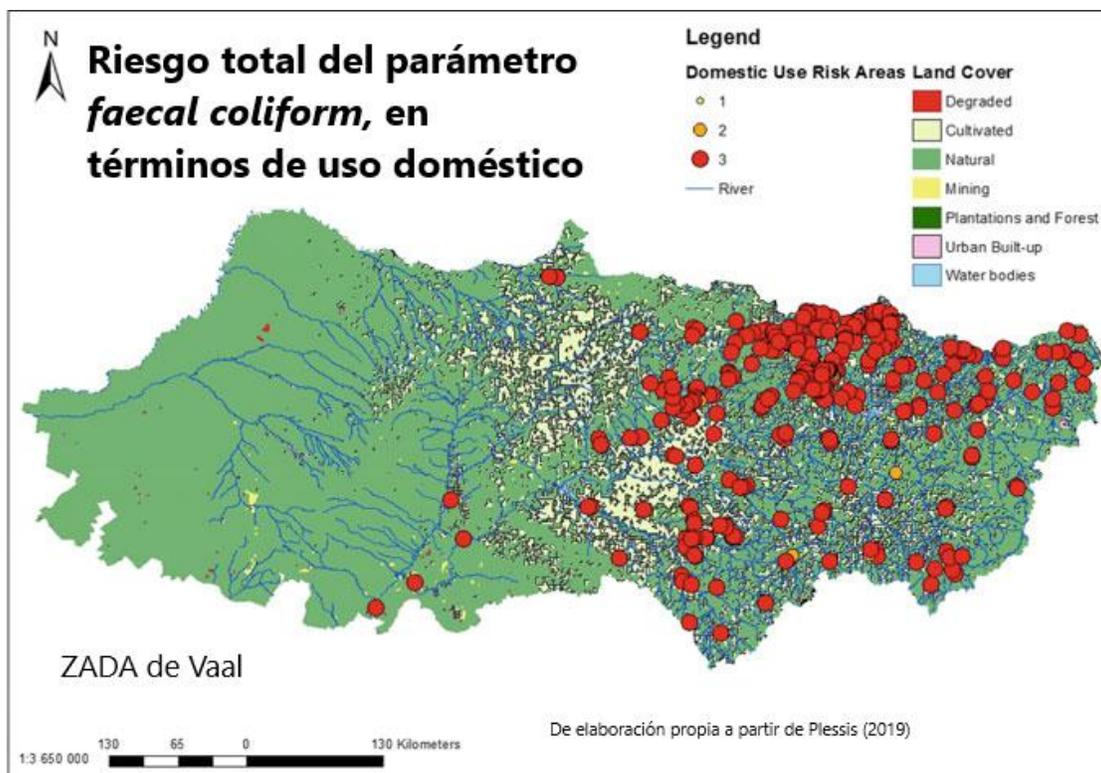


Figura 12. Riesgo total del parámetro Faecal Coliform, en términos de uso doméstico para la ZADA de Vaal

Áreas de riesgo en términos de uso industrial

La ZADA fue determinada de riesgo bajo a medio, en términos de la calidad del agua para uso industrial. Un total de 166 estaciones (43%) fueron clasificadas de riesgo bajo, seguido de 109 (29%) de riesgo mediano, 67 (18%) con un riesgo alto y 40(10%) sin riesgo. En cuanto a la subregión del Vaal superior las estaciones de monitoreo que reportaron riesgos medianos se distribuyen entre 30 ríos, 4 represas, 1 manatial, 25 plantas de tratamiento de agua residual. Las estaciones que presentaron un riesgo alto en el Vaal superior están comprendidas por 21 ríos, 3 represas y 1 planta de tratamiento de aguas servidas. Se reportaron concentraciones inaceptables de los parámetros químicos pH, CE, Cloruro y sulfato Plessis (2019); derivando en que las industrias que utilicen el agua contaminada tengan gastos superiores en términos de purificación de los recursos hídricos, para hacerla apta para la actividad productiva. Recordamos que los parámetros biológicos no afectan los estándares de calidad en términos de uso industrial.

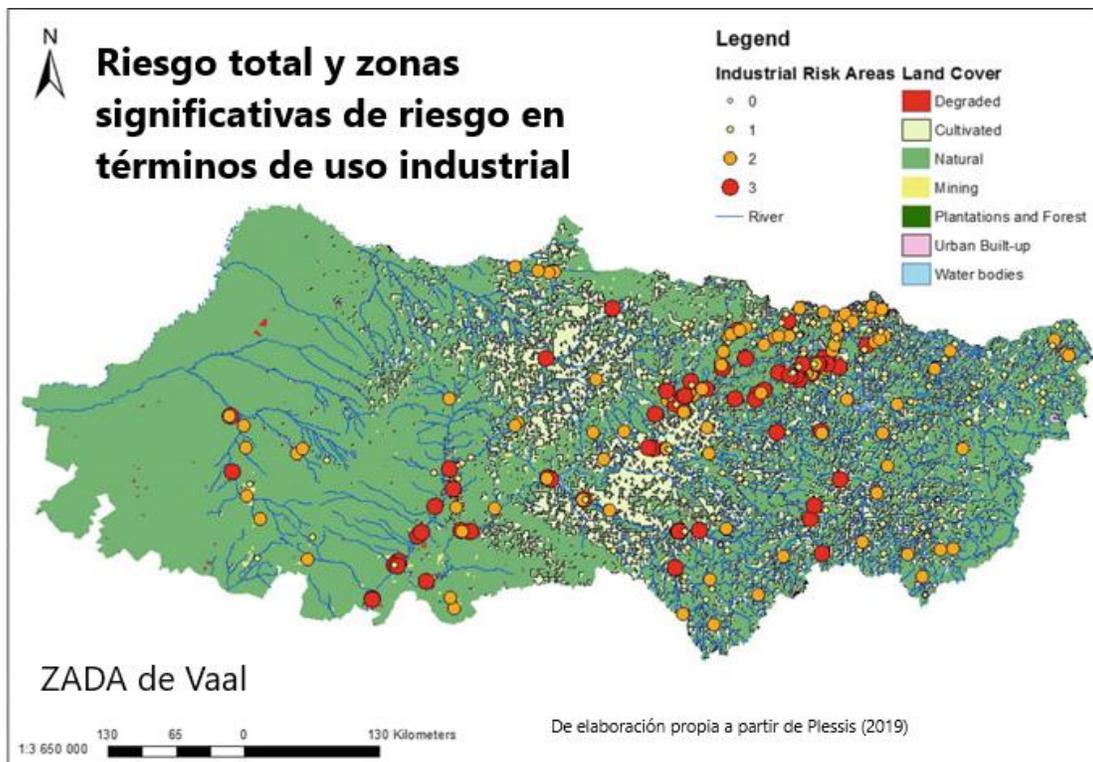


Figura 13. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de uso industrial, para la ZADA de Vaal (parámetros químicos)

ZADA: Limpopo

La ZADA surge de agua a dos provincias del país Gauteng y Limpopo del mismo nombre, que se llama así haciendo referencia al río principal de la región. Ambas provincias le dan uso diferente al agua, ya que en una región la producción predominante es minera, mientras que en la otra predomina el sector servicios y electricidad. La ZADA Se caracteriza por tener precipitaciones reducidas y dependencia de agua de los establecimientos cercanos, que transfieren recursos hídricos para suplir la producción de bienes y servicios, que crece constantemente en sus principales ciudades. Tenemos 3 sub zonas del manejo del agua (Crocodile west, Limpopo y Luvuvhu) caracterizadas por ser áridas y planas lo que dificulta la viabilidad en cuanto de la construcción de represas. Plessis (2019)

La densidad poblacional varía fuertemente entre las zonas urbanas y rurales, estando el 50% de la población en Polokwane, que concentra la mayor demanda de recursos hídricos para términos domésticos, Plessis (2019) mientras que el

asentamiento rural de Lephale concentra la demanda de agua para términos mineros, debido a que se encuentran grandes operaciones de extracción de carbón y platino, que son los minerales que más aportan al PIB con un 48% StastSa (2018) por lo que el suministro de agua a las zonas rurales en esta ZADA tiene la mayor importancia económica, medido en términos de los beneficios financieros que cada litro de agua puede aportar en su respectiva actividad productiva; por lo que es función de los gobernantes garantizar un suministro continuo.

El establecimiento de Crocodile west, permite la vida a 5 millones de personas; garantizando actividades económicas donde resaltan las granjas de animales y la minería; consecuentemente esta sub zona es la segunda que más aporta a través de sus recursos hídricos a la economía nacional (Si lo medimos proporcionalmente a su población) Plessis (2019). La región tiene un uso potencial no explotado de los recursos hídricos subterráneos, así como de reutilización del agua una vez finalizado sus procesos productivos.

El monitoreo del agua superficial está muy limitado en algunas zonas, con largas áreas predominantemente deshabitadas, sin monitoreo disponible. Un total de 264 estaciones de muestreo respaldan la investigación del período, de las cuales tenemos: 195 ríos, 37 presas/represas, 11 manantiales y 21 plantas de tratamiento de agua servidas (pocas estaciones respaldando el estudio en términos tratamiento de agua servida, si lo comparamos con las otras ZADA) Plessis (2019)

Riesgo en términos de uso doméstico

Si bien es cierto que esta ZADA no suministra de agua a las principales ciudades de Gauteng (Pretoria y Johannesburgo), hay un gran número de personas principalmente relacionadas con el sector minero y agricultor, que depende del agua provista para vivir. Por lo que fue considerado necesario analizar el riesgo del uso doméstico. Que se determinó predominantemente de riesgo bajo con 189 estaciones (71,5%) reportando niveles casi inexistentes de parámetros químicos, y 53 estaciones (20%) con un riesgo bajo. La mayoría de las estaciones que reportaron un riesgo alto, estaban cerca de establecimientos mineros o río abajo de las zonas urbanizadas; 6

zonas de riesgo alto fueron localizadas en la sub región de Crocodile West, que fueron 6 ríos y una planta de tratamiento de agua servida. Plessis (2019)

Por la tendencia demostrada en la investigación, es muy probable que de existir más estaciones de monitoreo en las plantas de tratamiento de agua servidas, mayores zonas de riesgo alto hubieran sido detectadas en estas mismas; por ser siempre las más afectadas de la contaminación. Las zonas determinadas de riesgo alto son un inconveniente mayor, debido a que presentan niveles inaceptables de casi todos los parámetros físicos y químicos Plessis (2019), por lo que el uso del agua para términos doméstico que este contaminada, debería ser restringida y sustituida por otras fuentes, para preservar la salud de los usuarios.

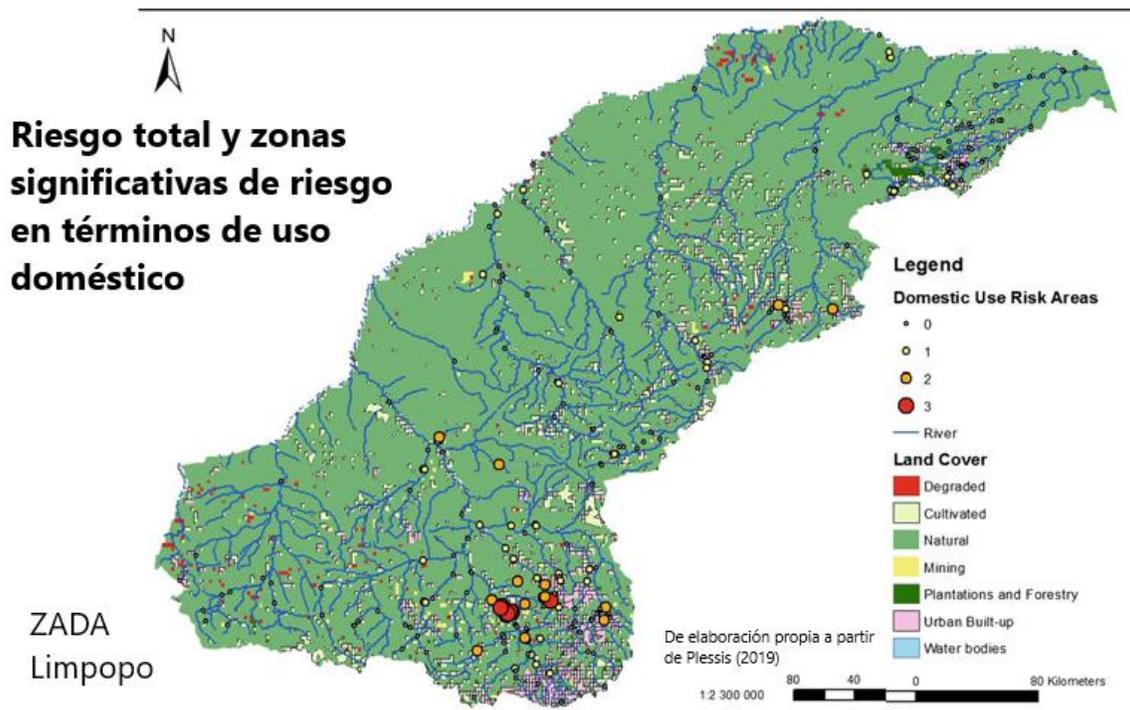


Figura 14. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de uso doméstico para Limpopo

En término de los parámetros biológicos 36 estaciones midieron la variable de Clorofila a, determinándose un riesgo de alto a medio con un 61% de las muestras reportando niveles inaceptables y un 39% con niveles tolerables Plessis (2019). Nuevamente fue en Crocodile west donde se reportó el mayor daño ecológico, propiciado por las actividades productivas como la agricultura y uso industrial. Se está

alterando el agua de la zona y eso debería ser una preocupación principal para los gobernantes, debido a que el costo económico no tarda en presentarse; si se mantiene la degradación de los recursos hídricos su uso para términos domésticos será inseguro, afectando de igual manera la eficiencia en la producción y trayendo costos a todas las industrias, ya que les será difícil conseguir trabajadores sanos en la zona.

En cuanto al Faecal coliform, de las 129 estaciones de muestreo que midieron al parámetro, 123 midieron niveles inaceptables para uso doméstico. Considerando de igual forma la falta de estaciones monitoreando al parámetro en las plantas de agua servidas, que como bien sabemos es donde se acumulan los mayores niveles de Faecal coliform. Vale la pena resaltar, que como gran parte del agua es transferida de la ZADA del Vaal, la calidad del agua se ve fuertemente influenciada por la transferencia, debido a que los parámetros bajo estudio viajan también junto al agua, afectando las muestras.

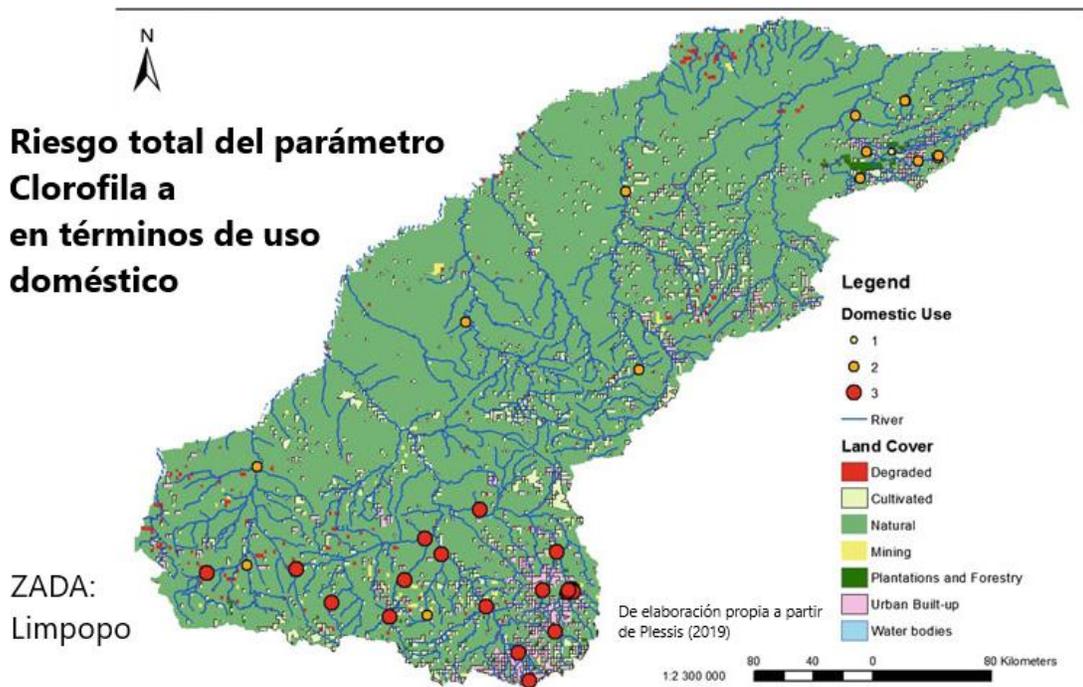


Figura 15. Riesgo total del parámetro Clorofila a en términos de uso doméstico para la ZADA de Limpopo

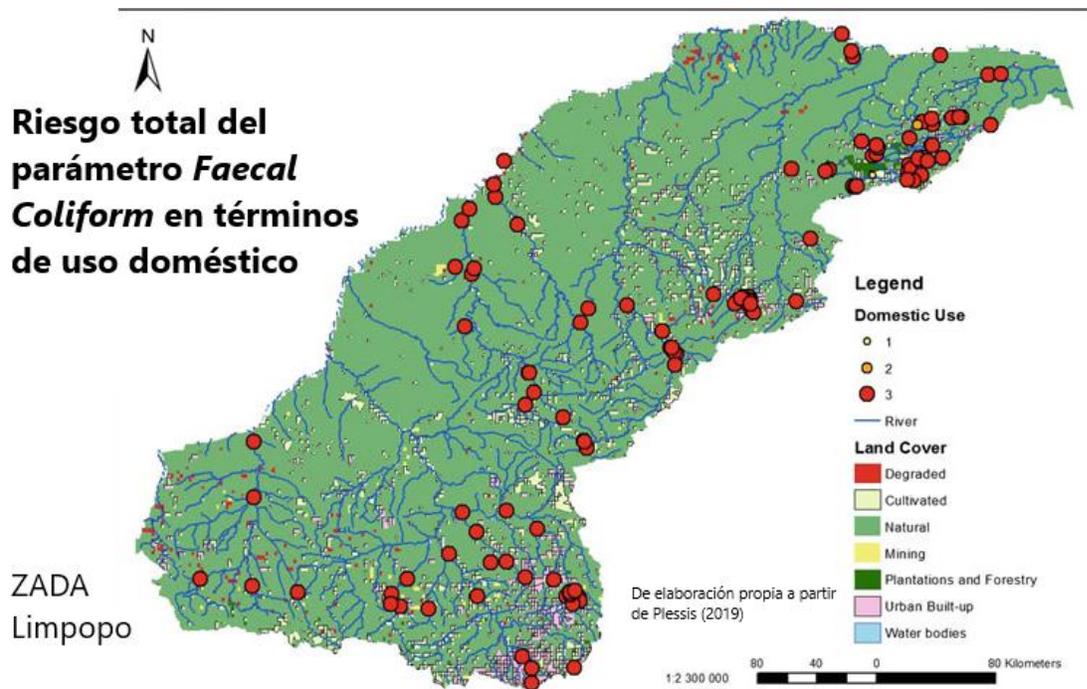


Figura 16: Riesgo total del parámetro *Faecal coliform* en términos de uso doméstico para la ZADA de Limpopo

Análisis del riesgo para el uso industrial

Se determinó que el riesgo relacionado al agua para el uso industrial es predominantemente nulo, con un 42% de las estaciones reportando riesgos bajos y un 32% reportando que no había riesgo. De igual manera 49 estaciones fueron declaradas de riesgo medio (18%) y 17 estaciones de riesgo alto (8%). Plessis (2019) si bien es cierto que actualmente el riesgo es bajo, la producción lleva varios años consecutivos aumentando StatsSa (2019) impulsada principalmente por la extracción de carbón y platino; por lo que de seguir aumentando la demanda de agua para satisfacer a la industria, el estrés colocado en las reservas de agua será cada vez mayor, lo que derivará en problemas de calidad del agua, si no se aumenta la capacidad de suministro actual.

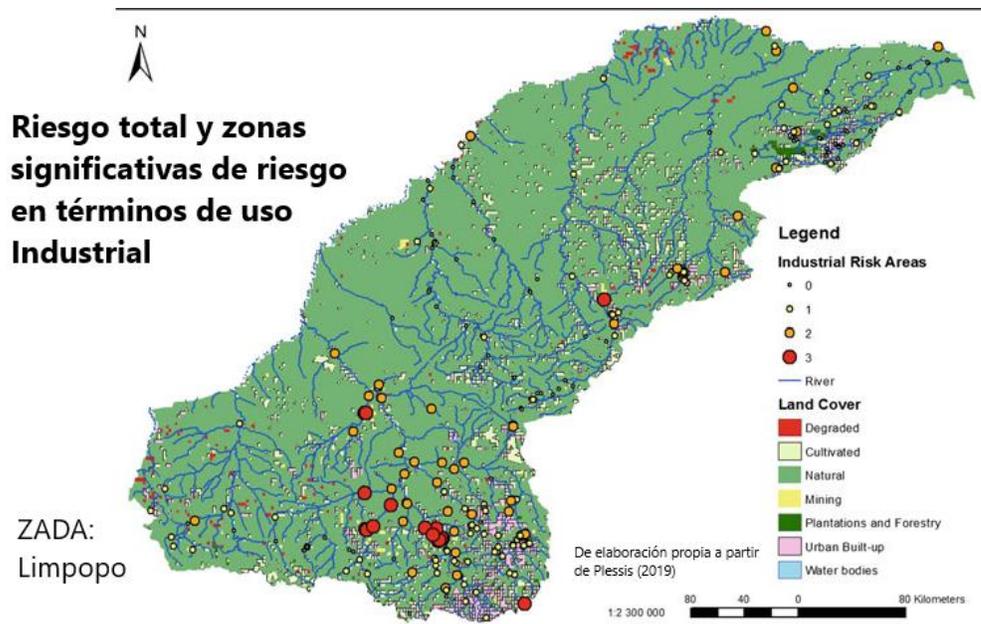


Figura 17. Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de uso industrial para la ZADA de Limpopo

Nuevamente la zona más perjudicada esta vez en términos industriales es Crocodile west, con 13 ríos, 1 represa y 3 plantas de tratamiento de agua servidas consideradas de riesgo alto y otros 21 ríos, 6 represas, 2 manantiales y 6 plantas de tratamientos de riesgo medio Plessis (2019). El riesgo es producido principalmente por las aguas contaminadas de la actividad minera, que fluyen río abajo contaminando los recursos hídricos con los que tienen contacto; la falta de planificación tanto de la industria como de los gobernantes se hace notar debido a que los ríos más modificados del país se encuentran en Limpopo StatsSa(2016) por lo que este es el costo ambiental que tuvo que pagar el país para desarrollar su capacidad minera, habría que preguntarse si hay alguna manera de llevar a cabo la producción que sea igual de eficiente y con costos accesibles para las empresas, que no produzca un daño ecológico tan elevado; que terminará afectando a las generaciones venideras ya que las consecuencias no son inmediatas.

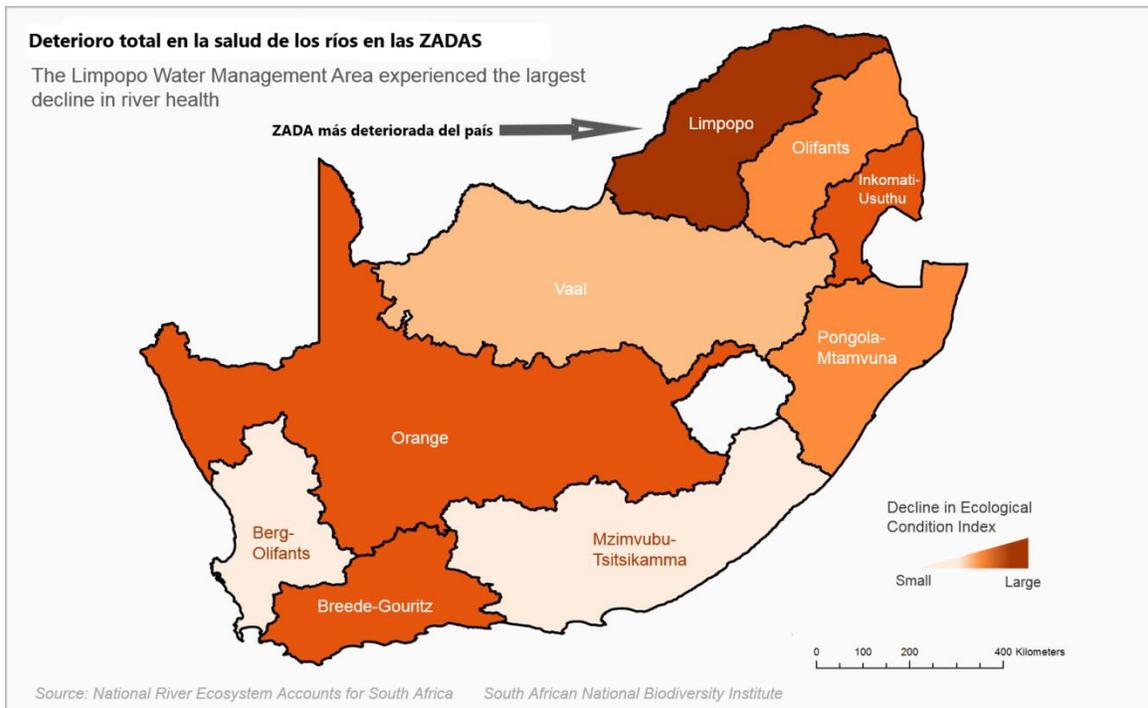


Figura 18. Deterioro total en la salud de los ríos en las diversas ZADAS

3.2.4 Provincia Limpopo

ZADA: Limpopo (ya expuesta) y Olifant

La principal característica de la provincia es su crecimiento económico potenciado por una subida en la producción minera, teniendo el 2do mayor crecimiento de todas las provincias de Sudáfrica, solo por detrás de Cabo del norte que es otra región minera, por lo que tenemos que 2 de las 3 provincias con mayor producción minera encabezando la lista de crecimiento nacional, por lo que claro que está industria presenta una relación con el crecimiento del país. Esta provincia tiene un 30% del PIB aportado en términos de minería. StatsSa (2019) lo que ha supuesto un incremento del estrés en los recursos hídricos, puesto que su calidad se ha visto modificada con la presencia de parámetros, químicos y biológicos, lo quedó demostrado en el análisis de la ZADA de Limpopo, que tiene los ríos más alterados de Sudáfrica.

Pese a demostrar un importante crecimiento sostenido en los últimos años, la población tiene un PIB per cápita un 28% menor al promedio, StatsSa(2017) esto debido a la naturaleza rural de la mayor parte de la provincia, que no demuestra zonas

industrializadas que generen valor agregado a la producción de las materias primas, generando que el sector servicios se encuentre desarrollado muy por debajo de su punto óptimo; siendo este con el sector industrial los sectores característicos de las naciones desarrolladas. Por lo que podemos afirmar que la concentración de capital en la región es baja, aportando solo un 7,2% al PIB StatsSa (2019) aunque la producción minera hace un aporte importante al país en su conjunto, generando sus mayores beneficios en las zonas más desarrolladas como la provincia vecina de Gauteng.

En la provincia de Limpopo, la alta degradación de los suelos, resultante de la contaminación y la acidificación que ocurre en el sur de la cuenca (área de Pretoria-Johannesburgo-Witbank) trae consigo la presencia de eutrofización en la cuenca del río y hace que la degradación de la vegetación cobre importancia, por el cambio en la composición de especies con la invasión de plantas exóticas y especies leñosas. Economic geology and minerals (FAO).

ZADA Olifant

La minería es la principal actividad del establecimiento, generando las mayores demandas de agua y en algunos lugares la irrigación en términos de forestación. La población está caracterizada por estar esparcida por el territorio, con un desarrollo rural bajo y con trabajadores predominantemente migrantes, que buscan trabajo como mineros o en los cultivos de algodón. Gran parte de la vegetación mantiene su carácter natural, con grandes zonas de conservación biológica como el parque Krueger y algunas zonas de pastoreo extensivo Plessis (2019), que han generado problemas de sobreexplotación de los suelos, derivando en la pérdida de nutrientes y posterior reducción de tierras disponibles.

Riesgo en términos de uso industrial

Un total de 278 estaciones de muestreo respaldan la investigación, incluyendo 233 ríos, 22 represas, 23 plantas de tratamiento de agua servida. Se determinó que para el estudio las zonas de riesgo más relevantes son las de uso industrial; donde se determinó que había un riesgo predominantemente bajo con un 67% de las estaciones indicando parámetros químicos con un riesgo bajo, un 16% de las estaciones sin riesgo (principalmente las zonas sin presencia humana, donde se ejerce menor cantidad de monitoreo del agua), un 14% de las estaciones con riesgo mediano y solo un 3% con un

riesgo alto Plessis (2019); lo que nos habla de la buena calidad de la que dispone la ZADA en términos industriales para llevar a cabo su producción, lo que se ratifica con elevado crecimiento económico y su producción minera que lleva varios años creciendo.

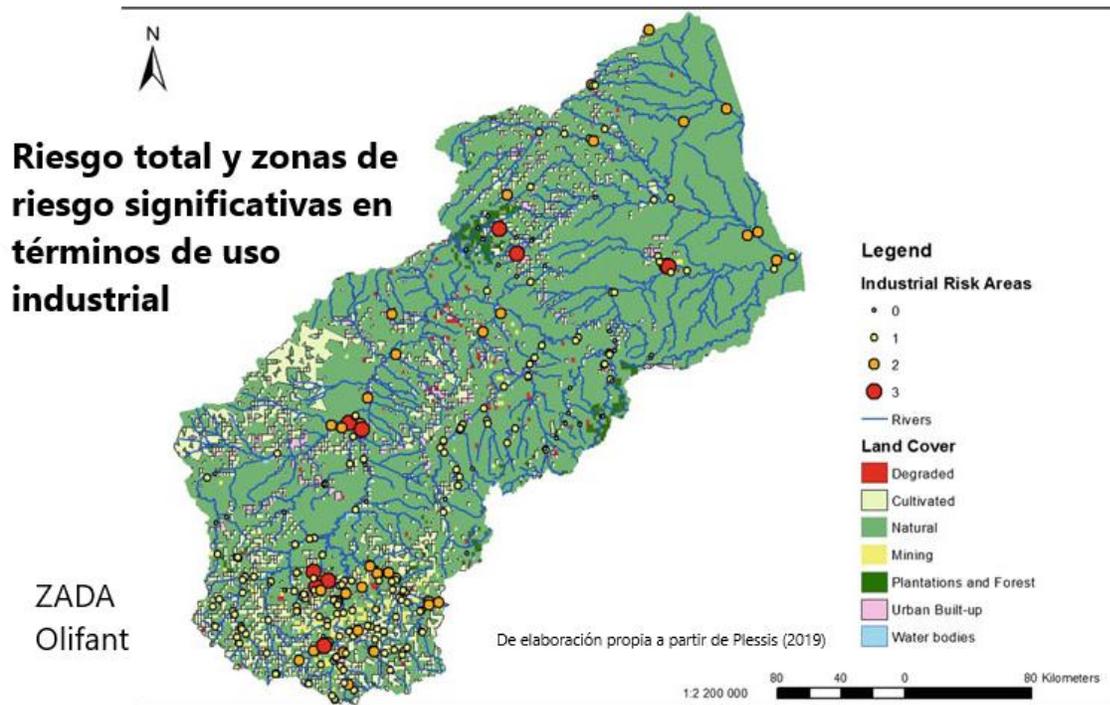


Imagen 18: Riesgo total y zonas significativas de riesgo en términos de uso industrial

4. Comparación con el caso Venezuela

Se hará un contraste entre el caso venezolano y sudafricano; donde se vea el impacto que tiene la utilización de los recursos hídricos en ambas economías locales. Donde se pueda evaluar con datos estadísticos, como la gestión de los recursos hídricos ha llevado en ambos países a generar una externalidad negativa, que afecta tanto a las actividades productivas, como a las personas y su calidad de vida; generando costos que muchas veces son difíciles de medir o que tardan tiempo en ser visibles, pero que sin duda están ahí y se van a manifestar en algún momento.

También es pertinente mencionar la diferencia en la calidad de instituciones entre ambos países, que si bien comparten varias características (índice de Gini elevado, países con pobreza extrema, dependientes de materias primas) uno cuenta con una información pública sobre las zonas de riesgo por sector en su país y el otro ni siquiera cuenta con datos de su PIB desde 2015 hasta el día de hoy, dato que es el más básico que hay. Por lo que si no hubiera una institución sólida como es el caso del instituto nacional de estadística de Sudáfrica y el departamento de agua y sanidad sudafricano este trabajo no hubiera sido posible. Todo esto conlleva que la data venezolana puesta en contraste con la sudafricana, tenga un carácter subjetivo debido a los grandes sesgos políticos que se encuentran implicados tanto en su análisis, como en las mismas variables estadísticas.

Situación del agua

La crisis del agua en Caracas llegó a tal punto que ha llevado a numerosas personas a **surtirse del contaminado río Guaire**, que atraviesa la ciudad y cuyo cauce recoge gran parte de los desechos de la urbe” Bermúdez (2019). Por otro lado tenemos la grave situación en la que se vió inmersa una de las localidades sudafricana, Ciudad del Cabo, en donde la escasez de agua para 2018 llegó a tales puntos que “... restaurantes y las empresas estaban alentando a las personas a no tirar la cadena después de ir al baño. La ciudad estaba a solo 90 días de cerrar los grifos.” Edmond (2019) por las amenazas en torno a la llegada del día cero, donde la ciudad cerraría sus grifos.

Al ser Venezuela un país en vías de desarrollo, se debería buscar la diversificación en la producción con la implementación de proyectos sostenibles, que reduzcan la dependencia rentista del petróleo para el caso de Venezuela, creando incentivos para incursionar no solo en el sector primario de la economía, sino también en la manufactura de bienes a partir de la materia prima (sector secundario), el turismo también representa una opción económica importante para el país, pero que debido a la mala gestión ambiental no puede explotarse de la mejor manera, en Venezuela tenemos 2.718 kilómetros de costa del país sufriendo de contaminación importante, desde hace al menos tres décadas. Valdiviezo (2019). La dependencia del país por su sector petrolero desencadena en que estemos a la merced, de los altos y bajos de los

precios de las materias primas en los mercados internacionales, que son conocidos por su constante fluctuación.

Venezuela muestra una fuerte dependencia de la electricidad para surtir de agua al país, el sistema de bombeo que se utiliza para surtir a Venezuela consume en torno al **10% de toda la electricidad** que se genera. Bermúdez BBC (2019). Esto debido a que hay lugares donde el recurso hídrico es muy abundante y este tiene que ser transportado desde estas zonas al resto del país. Una manera de reducir la dependencia que tiene Venezuela por sus fuentes de agua, es permitiendo que la empresa privada haga inversiones en el ámbito de la electricidad, para que su transporte a partir del sistema de bombeo sea posible en diversas áreas geográficas donde el agua superficial aún es un recurso en estado natural sin explotar.

[Situación minera en Venezuela](#)

La minería, definida como “la obtención selectiva de los minerales y otros materiales de la corteza terrestre. También se denomina así a la actividad económica primaria relacionada con la extracción de elementos de los cuales se puede obtener un beneficio económico.” Jesús Hernández (2011) es una de las principales actividades económicas realizadas por Sudáfrica y Venezuela, que además generan grandes alteraciones en el medio ambiente, y con ello, en el agua. La técnica de minería aplicada en Venezuela para la extracción de oro y diamante “corresponde a monitores hidráulicos, con el uso de mercurio. Esto trae nefastas consecuencias para los ecosistemas y para los indígenas, que ven como merma su salud y la destrucción de la vegetación, de los ríos, fragmentación de hábitat, contaminación del agua por sedimentos y por mercurio, destrucción del suelo, proliferación del paludismo...” (El arco minero indígena en la Guayana venezolana, 2018). Los residuos y desechos de la extracción minera son servidos en ríos, o son dejados en las minas ya explotadas, dejando inhabitable estos ecosistemas y contaminando zonas cercanas al cauce del río, afectando a las poblaciones tanto en su salud como en nivel económico. “El agotamiento del agua asociado a la apertura de futuras minas a tajo abierto, inevitablemente reduce el nivel local de agua.” Jesús Hernández (2011), teniendo un impacto directo en el suministro de agua a la población, por la competencia entre los

sectores por los recursos hídricos donde la industria minera por contar con grandes personas de influencia tiene garantizada su cuota de agua.

Entre 2001 y 2014, a través de imágenes satelitales realizadas por la NASA, se identificó que la extensión de bosques deforestados en el llamado Arco minero alcanza los 1.058Km² Arco minero (2018) . El mencionado método para la obtención de imágenes tomadas desde el espacio sirvió también para observar los sitios en donde ocurren dichas excavaciones y extracción de minerales, “Álveranga explica que el 85% de los yacimientos mineros en toda la Amazonía se encuentran en Venezuela.” Luis Miguel Alverenga, (2019). Uno de los principales agentes contaminantes es el mercurio, que es utilizado para “...aislar las pepitas de oro que se encuentran dispersas en las rocas. Ese químico luego es quemado o drenado al suelo, e incluso a los mismos ríos.” Arco minero (2018), generando niveles de contaminación, que aunque existen informes que fueron realizados por distintas organizaciones que revelan la magnitud del daño, no están disponibles para el público por motivos de intereses particulares “el resultado fue que la concentración de este químico en las personas es muy superior a lo establecido por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como peligroso.” Alverenga (2019)

Esta situación ha cobrado tal magnitud que “Desde 2016, un decreto presidencial declaró la zona como objeto de desarrollo estratégico nacional, que permite la explotación de riquezas minerales en 111.843 kilómetros cuadrados al sur del país, justo en la región donde más parques nacionales y reservorios ambientales existen en Venezuela.” Luis Miguel Alverenga (2019). Debido a la inexistente regulación o impuestos sobre la extracción, la mano de obra barata, la informalidad y la sindicalización de la actividad minera; el precio al cual se intercambia el metal precioso en Las Claritas estado Bolívar, es 50% menor que el valor en el mercado internacionalmente, que para el día de hoy, tiene un valor de 1.455\$ por onza troy. El precio del oro en Venezuela es fijado por el sindicato, donde este “...establece un precio de 2.799.000 bolívares por onza troy, es decir aproximadamente 700 dólares calculados a precio del mercado paralelo de la divisa.” (Arco Minero del Orinoco, Edgar Lopez). Lo anteriormente expuesto representa una variable importante que afecta a la situación económica del país, ya que este no aprovecha de manera óptima al oro como recurso;

ya que esté es comercializado en el territorio nacional, muy por debajo de su valor. Según cálculos de una empresa canadiense, Gold Reserve, el Arco minero del Orinoco, específicamente en Las Brisas-Las Cristinas se encuentra el yacimiento de oro más grande del país, “8.950 hectáreas en cuyo subsuelo existen más de 10 millones de onzas de oro y 1,5 billardos de libras de cobre” Arco Minero (2018)

Existe evidencia empírica que muestra el deterioro y las consecuencias de la mala gestión de los recursos y de la falta de control institucional sobre la producción. “En ciudad Bolívar, existen mafias carcelarias, mineros ilegales y traficantes de drogas y combustible. Sin embargo, el gobierno señala que tiene el control absoluto de la seguridad ciudadana, así como de los yacimientos y las fronteras.” Mongabay Latan (2018). Sí la cantidad de recursos que son administrados en la minería por la mafia, estuvieran en manos de alguna compañía que tenga metas y objetivos de producción que optimicen los beneficios y minimicen el impacto ambiental, se le estaría dando un mejor uso a los minerales, impulsando a la economía, ya que Venezuela tiene uno de los yacimientos mineros más grandes y ricos del mundo, La riqueza del Arco Minero ha convertido a esta área en un centro de conflictos, donde todos buscan el control de unos estimados, pero no confirmados \$100 mil millones en minerales ocultos. Mongabay y Latan (2018)

5 Conclusión

Después de haber finalizado el trabajo llegué a las siguientes conclusiones:

- 1) Tanto en Venezuela como Sudáfrica son los parámetros biológicos los principales causantes del elevado riesgo en la calidad del agua, estos son drenados a la naturaleza por las plantas de tratamiento de agua residual, que por no contar con el procesamiento necesario, deriva en la contaminación de los recursos hídricos. Tal como sucede en Olifant que es el río más contaminado de Sudáfrica, siendo los parámetros de *faecal coliform* y *clorofila a*, los principales causantes de su contaminación. Caso similar al venezolano, con el río Guaire siendo uno de los principales ríos de la región capital y también de los más contaminados del país, también por niveles elevados de *Faecal Coliform*, que derivan de las aguas negras que son

drenadas directamente de la ciudad; en el caso venezolano también resalta el Lago de Maracaibo y Valencia, ambos contaminados con altos niveles de Clorofila a, que desencadenó en que aparecieran varias especies de algas que consumen el oxígeno del agua trayendo problemas de Eutrofización. En ambos casos el impacto ambiental podría reducirse si el gobierno tuviera una participación más activa, velando por la protección de los recursos hídricos, ya que los parámetros biológicos hay manera de controlarlos.

- 2) Otra similitud importante conseguida entre los dos países es que, en ambos casos, los sectores donde se produjo el mayor crecimiento económico fue el minero, trayendo para los dos países grandes costos ambientales durante su explotación. Las regiones más afectadas por la contaminación del agua, estuvieron en los estados o provincias mineras; por lo que un punto interesante para futuras investigaciones sería determinar como el crecimiento económico en el sector minero de los países influye en el medio ambiente, haciendo énfasis en la calidad del agua y como se afectan los recursos hídricos. La mayoría de los daños ambientales son ocasionados, porque los productores buscando reducir costos no atienden las demandas de seguridad ambiental, por lo que aquí tenemos otro ámbito en el que el gobierno tiene que intervenir buscando actualizar su política extractiva de minerales; manteniendo la eficiencia productiva, pero al mismo tiempo minimizando el impacto ambiental.
- 3) La cooperación entre los países es una de las claves del éxito para el desarrollo. Podemos aprender del caso sudafricano como estos han logrado manejar casi de manera óptima los recursos hídricos transfronterizos. Trayendo grandes beneficios en términos de comercio para todos los implicados. Lesotho que es uno de los países más pobres de África tiene una de sus mayores fuentes de ingreso, vendiendo agua a sus países vecinos; debido a que este tiene un paisaje predominantemente montañoso; que es ideal para construir represas de agua, tal como han hecho las empresas sudafricanas los últimos años, generando trabajo y producción de bienes y servicios. En Venezuela podemos aprender sobre la cooperación del sur del

continente africano y poner en práctica lo aprendido en la Amazonía; que es una región comprendida por 7 países pero que tiene una densidad poblacional baja. Esta condición del Amazonas es propicia para las guerrillas, extractores ilegales de oro, traficantes de fauna silvestre; que causan grandes daños ecológicos en la región, tales como los incendios del Amazonas, que podría sospecharse que son producidos por los mineros que buscan acceder a los yacimientos y a los agricultores, que buscan ampliar su cantidad de territorio. Si se propiciará un carácter más abierto de colaboración entre los países que tienen un pedazo de Amazonas la seguridad en esta aumentaría; debido a que la manera más eficiente de administrar un territorio tan aislado como este, es dividiéndolo en partes que sean fácilmente administrables para cada país; pero puede que la división más óptima no tenga relación entre el territorio vigilado, con los límites territoriales del país (caso similar a la ZADA con las provincias); por lo que tendrá que promoverse la confianza entre naciones y flexibilizar la soberanía regional, para de esta manera garantizar la seguridad del Amazonas.

6. Referencias

Bibliografía

- Álvarez, A. (2019). *amnistia.org.ve*. Obtenido de La mayor tragedia en el arco minero del orinoco es la contaminación por mercurio.
- Astudillo, M. (2012). *Universidad nacional Autónoma de México*. México Df: Probooks.
- Banerjee, D. G. (2019). *IBM.COM*. Obtenido de Regresión por mínimos cuadrados en dos fases. IBM knowledge center.
- Blanco, F. (2017). Los recursos hídricos en el mundo cuantificación y distribución. Cuadernos de estrategia.
- Bohórquez, F. (Dirección). (2014 España). *Chad el milagro del agua* [Película].
- Carbotecnia. (2019). <https://www.carbotecnia.info/encyclopedia/que-es-el-ph-del-agua/>. Madrid España.
- E, B. (2018). *voyagesphotosmanu.com/recursos_sudafrica.htm*. Obtenido de Suelos de Sudáfrica.
- EEUU, D. d. (2019). *export.gov*.
- Eskom. (2019). *eskom.co.za*. Obtenido de Power stations and pumped storage schemes.
- Eskom. (2019). *eskom.co.za*. Obtenido de Understanding electricity.
- eye, P. (9 de 2019). *nwlesotho.co.is*. Obtenido de How much money Lesotoh earns from sale of water to Sa.
- Guadarrama, M. (2010). *Agua.org.mx*. Obtenido de La minería principal foco de contaminación.
- Guzmán, D. J. (03 de 2019). *ucvnoticias.files.wordpress.com/2019/03/origen-de-la-falla-v2-1.pdf*. Obtenido de Análisis de falla del sistema eléctrico nacional, pérdida total del sistema.
- Hernández, J. (s.f.). *en.calameo.com*. Obtenido de Efecto de la minería en el agua.
- Johannesburgo, O. e. (2017). *icex.es*.
- Julian Perez, A. G. (2010). *definicion.de*. Obtenido de Definición conductividad.
- López, E. (s.f.). *arcominerodelorinoco.com*. Obtenido de Arco minero del Orinoco.
- Lozada, J. R. (Noviembre de 2018). *ocmal.org/el-arco-minero-indigena-en-la-guayana-venezolana/*. Obtenido de El arco minero indígena de la guayana venezolana.

- Novales, A. (2006). *ucm.es*. Obtenido de Análisis de regresión departamento de economía cuantitativa. Universidad Complutense.
- Olmeda, J. (España). El agua y su análisis desde la perspectiva económica: una aplicación para el crecimiento económico. *VIII Reunión de economía mundial*. Castilla.
- Onu. (2009). *Organización de las naciones unidas para la educación ciencia y cultura*. Obtenido de El agua en un mundo de constante cambio.
- Onu. (2012). *Programa de las naciones unidas para el medio ambiente, misión una economía verde*.
- Plessis, A. d. (2019). *The water as an inescapable risk, Current global water availability*. Johannesburg.
- RonaldScri. (2015). *scribd.com*. Obtenido de Valor del agua y sus consecuencias.
- Sudáfrica, G. (2019). *sadc.int*. Obtenido de Request for expression of interest - Orasecom- Lesotho-Botswana. Water transfer multipurpose transboundary.
- tropicales, M. m. (2004). *wrm.org.uy/es/files/2013/04Mineria_Impactos_sociales_y_ambientales.pdf&ved*.
- Unesco. (2006). *Unesco.org/news/es*. Obtenido de Segundo informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de recursos hídricos.
- Valdiviezo, D. (2019 Caracas). *noticias24carabobo.com*.