

Análisis temporal del número de hectáreas cultivadas de erithroxylon coca (árbol de coca) en Colombia y su relación con algunos indicadores económicos del país.

Juan Camilo Lucumi Chury

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería, Escuela de Estadística
Santiago de Cali, Colombia

Análisis temporal del número de hectáreas cultivadas de erithroxylon coca (árbol de coca) en Colombia y su relación con algunos indicadores económicos del país.

Juan Camilo Lucumi Chury

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de:
Estadístico(a)

Director(a):
PhD. Cesar Andres Ojeda
Codirector(a):
PhD. Luz Adriana Pereira

Universidad del Valle
Facultad de Ingeniería, Escuela de Estadística
Santiago de Cali, Colombia

Dedicatoria

Dedico este trabajo de grado a todas las personas que han sido fundamentales en mi vida y en mi proceso de formación. A Dios, a mis padres y familiares, a mis compañeros y maestros, a mis directores y a nuestra Universidad y en general dedico este esfuerzo a todas aquellas personas que, de alguna manera, han contribuido a mi formación y desarrollo. Su influencia y apoyo han sido vitales para llegar hasta aquí.

¡Mil gracias!

"El éxito no es la clave de la felicidad. La felicidad es la clave del éxito. Si amas lo que haces, tendrás éxito."

Albert Schweitzer

Agradecimientos

Al culminar esta etapa tan importante de mi formación académica, quisiera expresar mi más sincero agradecimiento a todas las personas que, de una u otra manera, contribuyeron a la realización de este trabajo de grado.

En primer lugar, agradezco a Dios por darme la fortaleza y sabiduría para enfrentar y superar cada uno de los retos que se presentaron en este camino.

A mis padres, Luris Chury y Miller Lucumi, a mi hermana Viviana Lucumi y a mi sobrino Nicolás Klinger, por su amor incondicional, apoyo constante y por creer siempre en mis capacidades. Sin su esfuerzo y sacrificio, nada de esto habría sido posible. Gracias por ser mi mayor fuente de inspiración y motivación.

A la Universidad del Valle, institución que me ha brindado la oportunidad de formarme académica y profesionalmente durante estos años, brindando una experiencia educativa inigualable.

A mis director de tesis, Cesar Ojeda y Luz Pereira, por su paciencia, dedicación y valiosas orientaciones. Su experiencia y conocimientos han sido fundamentales para la realización de este trabajo. Agradezco cada una de sus sugerencias y el tiempo dedicado a revisar y corregir mi investigación.

A mis profesores, por compartir sus conocimientos y por el compromiso demostrado durante todos estos años de formación. Cada uno de ustedes ha dejado una huella imborrable en mi vida académica y personal.

A mis compañeros de estudio y amigos, por su apoyo y por hacer de esta experiencia un camino más llevadero y gratificante.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, de alguna manera, contribuyeron al éxito de este proyecto y que no he mencionado explícitamente.

A todos, mil Gracias!!!

Resumen

En el presente documento se expone y se analiza cómo el cultivo de coca en Colombia se ha relacionado con los indicadores económicos entre 1986 y 2020. El estudio no solo identifica el comportamiento de los cultivos de coca de forma independiente sino que también estudia este sector en función de indicadores económicos del país que son constantemente monitorizados, lo cual permite tener idea de lo que va a suceder en Colombia con los cultivos de coca según el análisis y el comportamiento del desarrollo económico del país.

Utilizando métodos estadísticos univariados se llego a realizar un análisis descriptivo detallado del comportamiento de los cultivos de coca medido en hectáreas en Colombia a través del tiempo y se determinaron algunas particularidades en el comportamiento de esta variable. Además de esto, también se utilizan técnicas como la correlación de pearson y los modelos de regresión lineal para estudiar la relación y el grado de asociación entre los cultivos de coca y algunos indicadores económicos del país.

Aunque esto no fue todo, para finalizar se utilizo un método de estimación muy practico que se esta utilizando mucho en la actualidad que son los Modelos de Puntuación Autoregresivos Generalizados (GAS), debido a que estos permiten modelar de manera dinámica y flexible las series de tiempo, adaptándose a fluctuaciones en determinados momentos. En adición a esto , ofrecen la capacidad de trabajar con datos que no siguen una distribución normal, posibilitando la asignación de una distribución que se ajuste mejor a su comportamiento. En particular, se hace uso de la aplicación Time Series Lab en su versión Dynamic Score Edition considerando que utiliza la distribución normal, cuyo dominio son los números reales.

Palabras clave

Análisis temporal, Cultivos de cocaína, Indicadores económicos, Modelos dinámicos.

Contenido

Resumen v

Lista de Figuras x

Lista de Tablas 1

1. Introducción 3

2. Capítulo: Planteamiento del problema 5

2.1. Planteamiento del problema 5

2.1.1. Pregunta problema 7

2.1.2. Enfoque del estudio 7

2.2. OBJETIVOS 8

2.2.1. Objetivo general 8

2.2.2. Objetivos específicos 8

2.3. JUSTIFICACIÓN 9

3. Capítulo: Marco teórico 10

3.1. ANTECEDENTES 10

3.2. Marco teórico contextual 12

3.2.1. Variables económicas 12

3.2.2. Cultivos de coca en Colombia 16

3.3. Marco teórico estadístico 17

3.3.1. Componentes de serie de tiempo 18

3.3.2. Correlación de Pearson 19

3.3.3. Modelo de regresión lineal 19

3.3.4. metodo de *** 21

3.3.5. Modelo Generalized Autoregressive Score (GAS) 21

3.3.6. Intervalos de confianza 22

4. Metodología 25

4.1. FASE 1: Revisión de literatura y connaturalización 26

4.2. FASE 2: Búsqueda y construcción de la base de datos 26

4.2.1. Construcción de una base de datos. 26

4.2.2. Depuración de la base de datos. 27

4.3. **Fase 3:** Análisis descriptivo y exploratorio . . . 27
4.4. **FASE 4:** Análisis de correlaciones . . . 27
4.4.1. Análisis de correlación . . . 27
4.5. **FASE 5:** Estimador de crecimiento de las hectáreas cultivadas . . . 28
4.6. **FASE 6:** Construcción del modelo GAS y estimaciones . . . 29
4.6.1. Construcción de un modelo GAS preliminar . . . 29
4.6.2. Ajuste del modelo GAS . . . 31
4.6.3. Análisis del modelo . . . 31
4.6.4. Estimaciones . . . 32
4.7. **FASE 7:** Interpretación de los resultados y conclusiones . . . 33

5. RESULTADOS 34
5.1. Análisis descriptivo . . . 34
5.1.1. Cultivos de coca en Colombia . . . 34
5.1.2. Desarrollo económico de Colombia entre 1986 y 2020 . . . 39
5.2. Correlación y estimación de crecimiento. . . . 44
5.2.1. Correlación entre variables . . . 44
5.2.2. Auto-correlación de las hectáreas cultivadas . . . 44
5.2.3. Estimador de crecimiento. . . . 45
5.3. Modelo GAS . . . 47
5.3.1. Estimación . . . 50

6. Conclusiones y recomendaciones 52
6.1. Conclusiones . . . 52
6.2. Recomendaciones . . . 53

A. Anexo: Comprobación de los supuestos del modelo de regresión lineal 54
A.1. Pruebas gráficas . . . 54
A.2. Pruebas formales . . . 55

B. Anexo: Comprobación de los supuestos del modelo Generalized Autoregressive Score (GAS) 57
B.1. Pruebas gráficas . . . 57
B.2. Pruebas formales . . . 58

Bibliografía 60

Lista de Figuras

2-1. Producción de cocaína en Colombia, Perú y Bolivia entre el 2011 y el 2021 . 6

4-1. Proceso metodológico utilizado 25

5-1. Comportamiento descriptivo de las Hectáreas cultivadas de coca en Colombia 35
5-2. Comportamiento temporal de las Hectáreas cultivadas de coca en Colombia . 36
5-3. Tasa de crecimiento de los cultivos de coca en Colombia en referencia al año anterior. 38
5-4. Diagrama de cajas del número de hectáreas cultivadas de coca dado un cambio significativo en el tasa de crecimiento del PIB. 39
5-5. Distribución de las variables que representa el desarrollo economico en Colombia entre los años 1986 - 2020 41
5-6. Comportamiento económico en Colombia entre los años 1986-2020 43
5-7. Auto-correlación y Auto-correlación parcial de las hectáreas cultivadas . . . 45
5-8. Estimación de los parámetros del modelo de regresión lineal ajustado 46
5-9. Estimación de los parámetros del modelo GAS 47
5-10.Aporte a la estimación de los parámetros del modelo 48
5-11.Estimación de la media de las hectáreas cultivadas con del modelo GAS . . . 49
5-12.ACF de los residuos y el Score del modelo 49
5-13.Representación gráfica del valor esperado de la media de hectareas cultivadas de coca en Colombia 50
5-14.Contraste entre las estimación del Numero de hectáreas cultivadas de coca y su valor real entre los años 2010-2023 51

A-1. Gráfica de los supuestos que deben cumplir los residuos del modelo 54
A-2. Prueba del supuesto de media 0 en los residuos 55
A-3. Prueba del supuesto normalidad en los residuos 55
A-4. Prueba de homogeneidad de varianza en los residuos 55
A-5. Prueba de independencia en los residuos 56

B-1. Gráfica de los supuestos que deben cumplir los residuos del modelo 57
B-2. Prueba del supuesto de media 0 en los residuos 58
B-3. Prueba del supuesto normalidad en los residuos 58
B-4. Prueba de homogeneidad de varianza en los residuos 58

B-5. Prueba de independencia en los residuos 59

Lista de Tablas

4-1. Variable objetivo de estudio 26
4-2. Variables económicas 27

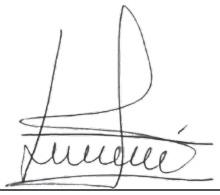
5-1. Hectareas cultivadas 35
5-2. Variables económicas 40
5-3. Tabla de correlaciones 44
5-4. : Intervalo del 95 % confianza para β_1 46
5-5. Estimación de las hectáreas con un intervalo de confianza del 95 % 50

Declaración

Nos permitimos afirmar que hemos realizado el presente Trabajo de Grado de manera autónoma y con la única ayuda de los medios permitidos y no diferentes a los mencionados en el propio trabajo. Todos los pasajes que se han tomado de manera textual o figurativa de textos publicados y no publicados, los hemos reconocido. Ninguna parte del presente trabajo se ha empleado en ningún otro tipo de Tesis o Trabajo de Grado.

Igualmente declaramos que los datos utilizados en este trabajo están protegidos por las correspondientes cláusulas de confidencialidad.

Santiago de Cali, 01.06.2024



(Juan Camilo Lucumi Chury)

1. Introducción

En el territorio colombiano está prohibido el cultivo de árboles de coca y otras especies de las cuales se derivan sustancias psicoactivas. Según el articulo 3 del decreto 896 de 1947 (Presidencia de la republica 1947), "De acuerdo con lo dispuesto en el artículo 1º de la Ley 45 de 1946, se prohíbe en el territorio de la República el cultivo de árboles de coca (Erythroxylum coca y sus variedades) y de cannabis nativa (marihuana), así como la distribución y venta de las hojas de estas plantas."

No obstante, esta ley no ha impedido que en Colombia y en algunos países de América del Sur se practique el cultivo de estas plantas en grandes cantidades. A lo largo de los años, y debido a diversos acontecimientos en Colombia, el país ha sido catalogado internacionalmente como la cuna mundial de cultivos ilícitos, especialmente de Erythroxylum coca, utilizada como base para la producción de diversas sustancias psicoactivas o alucinógenas. Estas sustancias estimulan el cuerpo humano, generando sensaciones de mayor energía y alerta. Por esta razón, los derivados de la hoja de coca tienen altos niveles de consumo en diferentes países del mundo, y gran parte de esta demanda mundial está siendo satisfecha por Colombia.

El cultivo de Erythroxylum coca en Colombia no es simplemente una actividad agrícola; es un fenómeno complejo que tiene profundas implicaciones sociales, económicas y políticas. La producción y distribución de cocaína no solo afectan a los agricultores y comunidades locales, sino que también tienen un impacto significativo en la economía nacional y en la percepción internacional del país. A pesar de los esfuerzos gubernamentales y las iniciativas internacionales para erradicar estos cultivos, la realidad es que la cocaína sigue siendo una de las principales exportaciones ilegales de Colombia, con una cadena de suministro bien establecida que abarca desde los campos de cultivo hasta los mercados globales.

El fenómeno del cultivo de coca en Colombia también está intrínsecamente ligado a la violencia y al conflicto armado. Los grupos armados ilegales, incluidos los cárteles de drogas y las guerrillas, han utilizado durante mucho tiempo la cocaína como una fuente principal de financiamiento. Esta dinámica ha contribuido a la perpetuación de la violencia y la inestabilidad en muchas regiones del país. Además, la corrupción y la debilidad institucional en ciertas áreas han facilitado la expansión de estos cultivos y la operación de redes de narcotráfico.

Es de sentido común pensar que toda la producción, fabricación y expendio de sustancias derivadas de esta planta genera un desarrollo económico en los hogares, familias y sectores económicos en las áreas donde se realiza este proceso. Esto sugiere que, en general, debería haber un crecimiento económico a nivel nacional en estas áreas. Cabe recalcar que el desarrollo económico de Colombia desde 1987 ha sido un proceso caracterizado por transformaciones significativas, desafíos persistentes y logros notables. Tras décadas de fluctuaciones económicas y crisis políticas, el país ha experimentado períodos de crecimiento sostenido, impulsado por reformas estructurales, políticas de apertura económica y esfuerzos por diversificar su base productiva. Sin embargo, este camino hacia el progreso no ha estado exento de obstáculos, ya que Colombia ha enfrentado desafíos sociales, conflictos armados internos y vulnerabilidades económicas a lo largo de este período.

La relación entre los cultivos de coca y la economía colombiana es compleja y polifacética. Por un lado, los ingresos generados por la cocaína pueden proporcionar una fuente importante de sustento para los agricultores en las zonas rurales, donde las oportunidades económicas alternativas pueden ser limitadas. Por otro lado, la economía ilícita de la cocaína puede distorsionar los mercados locales y nacionales, fomentar la corrupción y desincentivar la inversión en sectores productivos legales.

Este trabajo aborda la problemática de los cultivos de Erythroxylum coca (árbol de coca) en el territorio colombiano, con el fin de determinar su comportamiento y caracterizar algunos factores que permitan establecer relaciones con el sector económico del país. Para ello, se tomarán los indicadores económicos más representativos y se estudiará su relación con las hectáreas cultivadas, caracterizando ambos sectores por las similitudes en su comportamiento. Finalmente, se construirá un modelo que permitirá estimar el valor esperado de las hectáreas cultivadas de coca en función de las variables que representan el comportamiento económico del país.

Al estudiar esta problemática, se espera no solo comprender mejor la dinámica entre los cultivos de coca y la economía colombiana, sino también ofrecer perspectivas que puedan informar políticas más efectivas para abordar este desafío polifacético. La esperanza es que, con un conocimiento más profundo y una estrategia integral, se pueda avanzar hacia una Colombia donde los cultivos ilícitos no sean una necesidad económica y donde el desarrollo sostenible sea una realidad accesible para todas las comunidades.

2. Capítulo: Planteamiento del problema

En este capitulo se abordara la problemática generada por los cultivos de coca en el país de Colombia y sus alrededores, además de plantear la idea de investigación donde se relaciona el numero de hectáreas cultivadas de coca con algunos indicadores económicos del país. Utilizando como base el comportamiento de los últimos años de estos cultivos para dar justificación a la realización de este trabajo. Con esto en mente en este capitulo podemos encontrar el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación de la investigación.

2.1. Planteamiento del problema

Según los registros de la UNODC, en la última década, la producción de cocaína en Colombia se ha incrementado más de 3,5 veces, pasando de 273 toneladas en 2011 a 972 toneladas en 2021. Este aumento significativo, en comparación con el crecimiento observado en años anteriores, indica que el problema del cultivo, producción, tráfico y distribución de sustancias psicoactivas derivadas de la hoja de coca no está siendo controlado eficientemente por las autoridades responsables en los territorios donde se cultiva el Erythroxylum coca o arbusto de coca.

De acuerdo con un estudio realizado por Pasquali (2023) se determino que es alarmante la situación para América del Sur, especialmente para Colombia, Perú y Bolivia en términos de producción de cocaína, en 2021 se produjeron aproximadamente 2.074 toneladas de cocaína, de las cuales 972 toneladas fueron producidas en Colombia. Esto significa que Colombia produjo cerca del 46,8 % de la cocaína total de estos tres países, (ver figura **2-1**).

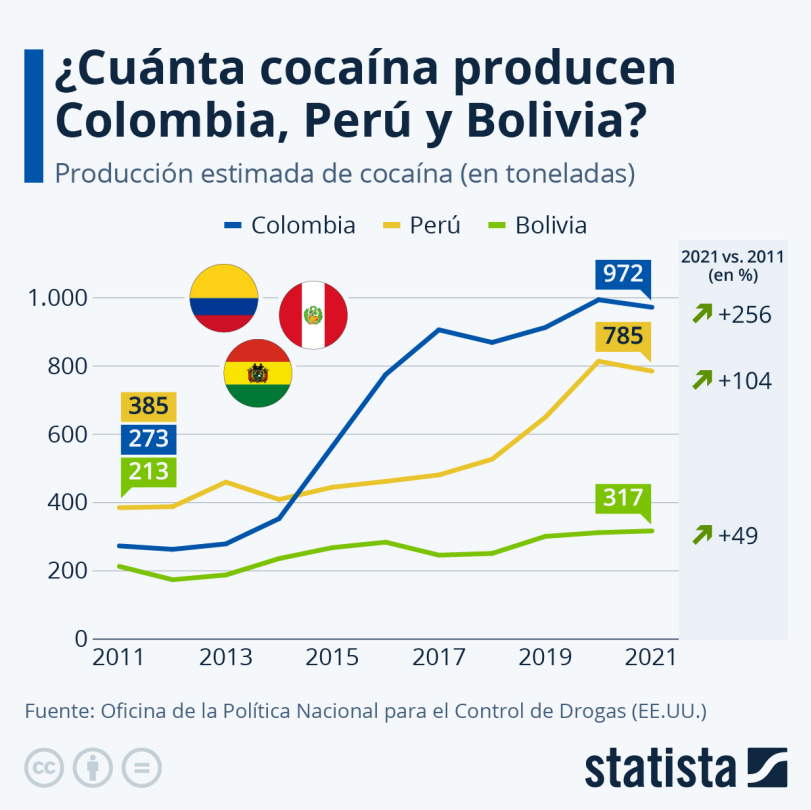


Figura 2-1.: Producción de cocaína en Colombia, Perú y Bolivia entre el 2011 y el 2021

El crecimiento de la producción de cocaína en Colombia fue tan notable que, entre 2017 y 2018, superó con creces la producción de los países vecinos, considerados anteriormente como los mayores productores de cocaína del mundo. Colombia llegó a producir más cocaína que Perú y Bolivia juntos, siendo responsable de aproximadamente el 70 % de la producción mundial de esta sustancia.

A su vez este incremento en la producción de cocaína representa un crecimiento en el numero de hectáreas cultivadas de coca y se pensaría que podría ir acompañado también de un crecimiento económico en ciertos sectores productivos y potencialmente a nivel nacional. Sin embargo, desde 1986 hasta 2020, Colombia ha experimentado altibajos en su crecimiento económico anual, lo cual refleja dificultades y déficit en el desarrollo económico del país y en el bienestar de sus ciudadanos.

Aunque la inflación en Colombia ha sido regulada gradualmente entre 1986 y 2020, en los últimos años la tasa de crecimiento del consumo ha superado la tasa de crecimiento del Producto Interno Bruto (PIB). Esto sugiere que el crecimiento del consumo es mayor que el de la producción. Además, la tasa de crecimiento en 2020 ha superado el punto más bajo registrado desde 1997, representando una crisis económica interna significativa.

Por esta razón, es crucial determinar la relación entre los cultivos de coca en Colombia y su estabilidad económica, así como estudiar el comportamiento futuro de estos cultivos.

2.1.1. Pregunta problema

- ¿Qué tan fuerte es la relación que existe entre el numero de hectáreas cultivadas de coca en Colombia con algunos indicadores económicos del país?.
- ¿Que indicador económico del país se puede seleccionar como base para el estudio del crecimiento las hectáreas de coca cultivadas en Colombia?
- ¿Como se vera el comportamiento de las hectáreas cultivadas de coca en Colombia para los años 2020, 2021, 2022?

2.1.2. Enfoque del estudio

Este estudio tiene como objetivo analizar, comprender e interpretar cómo el número de hectáreas que se utilizan para cultivar coca en Colombia se ve afectado por algunos de los indicadores económicos más representativos del país. Se busca determinar si los cultivos de cocaína en Colombia son determinantes para la estabilidad de la economía nacional. Para ello, se tomarán los indicadores económicos más representativos y se estudiará su relación con las hectáreas cultivadas, caracterizando ambos sectores por las similitudes en su comportamiento. Finalmente, se construirá un modelo que permitirá estimar el valor esperado de las hectáreas cultivadas de coca en función de las variables que representan el comportamiento económico del país.

Este enfoque permitirá no solo comprender mejor la dinámica entre los cultivos de coca y la economía colombiana, sino también ofrecer perspectivas que puedan informar políticas más efectivas para abordar este desafío polifacético. La esperanza es que, con un conocimiento más profundo y una estrategia integral, se pueda avanzar hacia una Colombia donde los cultivos ilícitos no sean una necesidad económica y donde el desarrollo sostenible sea una realidad accesible para todas las comunidades.

2.2. OBJETIVOS

2.2.1. Objetivo general

Desarrollar un análisis integral que permita consolidar la información de los indicadores relacionados con el cultivo de cocaína en Colombia, asociarlos con los indicadores económicos del país, y construir un modelo temporal dinámico que estime la relación entre las hectáreas cultivadas de **Erythroxylon coca** y variables económicas clave, con el fin de evaluar el impacto del desarrollo económico en la dinámica de los cultivos de cocaína durante los años 2021, 2022 y 2023.

2.2.2. Objetivos específicos

- Consolidar la información de los indicadores relacionados al cultivo de cocaína en Colombia, asociarlos con indicadores económicos y estudiar su comportamiento.
- Determinar si existe relación que hay entre las hectáreas cultivadas de erithroxylon coca (árbol de coca) y los indicadores económicos de Colombia.
- Construir, estimar y validar un modelo temporal dinámico que permita estimar el numero de hectáreas de erithroxylon coca (árbol de coca) en Colombia con base a algunos indicadores económicos del país como lo son: PIB, Inflación, Tasa de desempleo, Tasa representativa del mercado(TRM), Tasa de consumo, entre otras.
- Inferir como se ve afectados los cultivos de cocaína en los años 2021, 2022 y 2023 según el desarrollo económico del país.

2.3. JUSTIFICACIÓN

Asi como el desarrollo de los cultivos de los cultivos de coca puede generar beneficios económicos para algunos sectores de la nación a pesar de que es una actividad que se realiza de forma ilegal, también atrae diversos problemas sociales y de salud por el impacto negativo que genera en la sociedad los derivados de este cultivo. La estimación de la cantidad de hectáreas de coca cultivadas en Colombia es importante por varias razones como:

- **Monitoreo de la producción de drogas ilícitas:** El cultivo de coca es el primer paso en la producción de cocaína, una droga ilegal que tiene un gran impacto en la salud pública y la seguridad nacional. Estimar la extensión de los cultivos de coca ayuda a las autoridades a comprender la magnitud del problema de las drogas ilícitas y a desarrollar estrategias para combatirlo.
- **Evaluación de políticas y programas:** Las estimaciones sobre la cantidad de hectáreas de coca cultivadas en Colombia permiten evaluar la efectividad de las políticas y programas destinados a reducir el cultivo y la producción de drogas ilícitas. Si las estimaciones muestran un aumento en los cultivos de coca, puede indicar que se necesitan ajustes en las estrategias implementadas.
- **Asignación de recursos:** Conocer la extensión de los cultivos de coca ayuda a asignar recursos de manera más efectiva para la erradicación, la intervención y la prevención del tráfico de drogas. Los recursos limitados pueden dirigirse hacia las áreas con mayor concentración de cultivos de coca para maximizar el impacto de las operaciones antidrogas.
- **Cumplimiento de compromisos internacionales:** Colombia, al igual que otros países, está sujeto a compromisos internacionales en la lucha contra el narcotráfico. Estimar y reportar la cantidad de hectáreas de coca cultivadas es crucial para cumplir con estos compromisos y mantener relaciones internacionales en materia de seguridad y cooperación contra el crimen organizado.

Este estudio nos va a permitir determinar estudiar el comportamiento del numero de hectáreas cultivadas de coca a través del tiempo, su relación y el vinculo que ha existido desde el año 1986 hasta el 2020 entre estos cultivos y algunas variables que representan considerablemente el desarrollo económico del país como lo son el PIB, el consumo o gasto de los colombianos, la tasa de desempleo, entre otras. Prosiguiendo a realizar una estimación de las hectáreas cultivadas de coca en los años 2021 y 2022 sucesivamente y así obtener una vista previa de como se van comportar los cultivos de coca en estos años según el comportamiento económico del país.

3. Capítulo: Marco teórico

En este capitulo se constituye la estructura fundamental en un proyecto de investigación, donde se integran y analizan teorías, conceptos y estudios previos relacionados con los cultivos de coca en Colombia y algunos de los indicadores económicos mas representativos del país. Además se exponen los antecedentes, las principales teorías y conceptos que sustentan un proyecto o investigación, además de incluir los argumentos e ideas que se han desarrollado en relación con un tema.

3.1. ANTECEDENTES

- Según Caicedo (2012) en su trabajo de grado nombrado "Erradicación forzosa y presencia de los cultivos ilícitos en Colombia 1986-2009" donde se realiza un análisis económico descriptivo sobre la erradicación forzosa de cultivos ilícitos en Colombia y como se ve afectada la economía dado estos factores.

  Para el estudio de la presencia de los cultivos ilícitos en Colombia se formaliza un modelo teórico en el que se analiza el comportamiento de los cultivadores-productores de coca frente a un evento aleatorio de fumigación y sus efectos dinámicos sobre la mano de obra involucrada en la extracción de las cosechas y el stock de hectáreas cultivadas. Los resultados señalan que frente a un stock exógeno de erradicación forzosa se presenta una erradicación ineficaz, capaz de promover una caída permanente en la mano de obra empleada en la extracción de la hoja, pero acompañada por un crecimiento en el tiempo de las hectáreas cultivadas. Complementariamente, mediante un modelo econométrico, se brinda sustento empírico a la hipótesis central, así como a las proposiciones tentativas acerca de la relación existente entre el área sembrada de coca y sus principales determinantes.

  Tomando base de esto llegaron a conclusiones como que el cultivo de coca permanece durante un periodo prolongado de años, un incremento del 1 % en las hectáreas cultivadas el año anterior incrementa en 0,50 % el área cultivada del siguiente año, es decir, gran parte de la persistencia del área sembrada de coca es explicada positivamente por ella misma.

$$lnHC_t = \beta_0 + \beta_1 lnHC_{t-1} + \beta_2 lnERRC_t + \beta_3 lnPCCOL_t$$
$$\beta_4 lnPCEU_t + \beta_5 lnPPAL_t + \beta_6 lnHPB_t + \varepsilon_t$$

Otra conclusión muy considerable es que, aunque los resultados señalan que un incremento del 1 % en el precio de los cultivos de palma africana propician una reducción de 0,24 % en las hectáreas sembradas de coca, la falta de significancia individual en esta variable impide confirmar la veracidad de dicha relación. La falta de significancia en este caso podría deberse a que la variable, precio del aceite de palma africana, no actúa como aproximativo fiel de la inversión en desarrollo alternativo. Entre otras conclusiones.

- Durante el período comprendido entre 1986 y 2020, Colombia experimentó una serie de transformaciones económicas significativas. Como afirma Ibáñez & Ocampo (2000) en el libro "La crisis financiera colombiana de 1998-1999: una mirada desde la economía políticaz el articulo": En los años 80 y 90, el país implementó políticas de apertura económica y reformas estructurales destinadas a liberalizar su economía y atraer inversión extranjera. Estas medidas llevaron a un aumento en el comercio internacional y la integración de Colombia en la economía global. Sin embargo, el conflicto armado interno ha sido un obstáculo importante para el desarrollo económico, generando inestabilidad en algunas regiones y desafiando los esfuerzos de inversión y crecimiento. A pesar de estos desafíos, Colombia experimentó un crecimiento económico moderado, impulsado por la estabilidad macroeconómica y el auge de los precios de los productos básicos en la década de 2000.

- Según Sánchez (2014) en el articulo "La economía colombiana en el siglo XXI: Un balance": a inicio del siglo XXI, persistieron problemas importantes de desigualdad y pobreza, con grandes segmentos de la población colombiana viviendo en condiciones precarias. Además, el sector energético, especialmente la industria petrolera y minera, desempeñó un papel crucial en la economía, aunque la volatilidad de los precios mundiales de los productos básicos representó un desafío constante.

- Un momento importante para la economía colombiana de dio seguido de la firma del acuerdo de paz con las FRAC en 2016, según García & Montes (2018) en Çrecimiento económico y desigualdad en Colombia: Un análisis de largo plazo": el acuerdo de paz generó esperanzas de una mayor estabilidad y desarrollo, pero su implementación completa ha sido un proceso complicado. Por otro lado, el turismo emergió como un sector cada vez más importante, con un aumento en la llegada de turistas extranjeros y un crecimiento en la infraestructura turística. Finalmente se determino que l Acuerdo de Paz ha tenido un impacto positivo en la economía colombiana, pero aún quedan

desafíos por delante. La implementación efectiva del Acuerdo de Paz requiere un compromiso sostenido por parte del gobierno, la sociedad civil y el sector privado. Si se superan estos desafíos, Colombia tiene el potencial de convertirse en una economía más próspera y equitativa.

- Para nadie es un secreto que la pandemia producida por los efectos del Covid-19 que inicio en el 2020 afectó fuertemente el desarrollo económico de el mundo en general y Colombia no fue la excepción, según la ONU en el *Análisis del impacto socioeconómico del COVID-19 en Colombia* (2021): La pandemia del COVID-19 ha tenido un impacto devastador en la economía y sociedad de Colombia, generando una de las peores crisis económicas de su historia. Se experimentó una fuerte caída del PIB (-5,8 % en 2020), duplicación del desempleo (21,2 %), aumento de la pobreza (más de 4 millones de personas) y la informalidad (54,6 %), y una contracción en todos los sectores productivos, especialmente comercio, transporte e industria.

3.2. Marco teórico contextual

3.2.1. Variables económicas

Con el fin de entender cada una de las variables y/o datos utilizados para el desarrollo de este trabajo, se presenta la definición de algunos conceptos fundamentales de economía que serán empleados a lo largo del trabajo.

- **Producto Interno Bruto**

  "El Producto Interno Bruto (PIB) es una variable económica que se utiliza para medir la actividad económica de un país en un período de tiempo específico, como un trimestre o un año. Desde el punto de vista estadístico, el PIB se considera una variable cuantitativa continua, ya que puede tomar una amplia gama de valores en función de la producción total de bienes y servicios dentro de la economía de un país. Sin embargo, también se puede analizar como una variable macroeconómica que refleja el valor monetario de todos los bienes y servicios finales producidos dentro de las fronteras de un país durante un período determinado"Krugman & Wells (2015).

  Existen diferentes formas de calcular el PIB, pero la forma más común es la suma de tres componentes principales:

  - **Producción de bienes y servicios:** Este componente incluye el valor de todos los bienes y servicios producidos en el país. Se mide utilizando el enfoque de producción, que suma el valor agregado en cada etapa de la producción.

- **Gasto:**Este enfoque suma todos los gastos realizados en bienes y servicios finales dentro del país. Se divide en consumo, inversión, gasto público y exportaciones netas (exportaciones menos importaciones).
- **Ingresos:** Este enfoque suma todos los ingresos generados por la producción de bienes y servicios en el país. Incluye salarios, beneficios empresariales, impuestos indirectos y subsidios.

El PIB se puede calcular utilizando diferentes enfoques, como el enfoque de producción (o valor agregado), el enfoque de gasto y el enfoque de ingresos. Estos enfoques proporcionan una perspectiva diferente sobre la actividad económica, pero en última instancia, deben conducir al mismo resultado. Aun así la forma básica para el calculo del PIB es la siguiente:

$$PIB_i \;=\; C_i + I_i + G_i + (X_i - M_i) \tag{3-1}$$

Donde:

- **C:** representa el consumo, es decir, el gasto en bienes y servicios por parte de los consumidores.
- **I:** representa la inversión, que incluye el gasto en bienes de capital y la formación bruta de capital fijo por parte de las empresas.
- **G:** representa el gasto gubernamental, es decir, el gasto del gobierno en bienes y servicios.
- **X:** representa las exportaciones de bienes y servicios.
- **M:** representa las importaciones de bienes y servicios.

El PIB es una medida importante para comprender el tamaño y la dirección de la actividad económica de un país. Puede proporcionar información sobre el crecimiento económico, la producción, el consumo y la inversión. Sin embargo, también tiene limitaciones, ya que no refleja la distribución de la riqueza, la calidad de vida ni otros aspectos importantes de la economía. Por lo tanto, se utiliza junto con otras métricas para obtener una imagen más completa de la situación económica de un país.

- **inflación**

Según Economist (2020) "La inflación es un fenómeno económico que se refiere al aumento sostenido y generalizado en el nivel de precios de bienes y servicios en una economía durante un período de tiempo. En otras palabras, la inflación significa que, en promedio, los precios de los bienes y servicios tienden a subir, lo que lleva a una

disminución del poder adquisitivo de la moneda. La tasa de inflación se expresa como un porcentaje y se calcula comparando el índice de precios en dos períodos diferentes. Los índices de precios, como el Índice de Precios al Consumidor (IPC), se utilizan para medir estos cambios en los precios de una cesta representativa de bienes y servicios que consumen los hogares".

Es importante tener en cuenta que inflación se calcula mediante el seguimiento y comparación de los precios de una cesta representativa de bienes y servicios a lo largo del tiempo. El índice de precios resultante se utiliza para medir el cambio porcentual en el nivel general de precios.Básicamente el calculo de la inflación se realiza de la siguiente manera:

1. **Selección de la Cesta de Bienes y Servicios:** Se elige una cesta representativa de bienes y servicios que los consumidores típicamente adquieren. Esta cesta puede incluir alimentos, ropa, vivienda, educación, atención médica, transporte y otros elementos esenciales.
2. **Determinación de los Precios de la Cesta:** Se recopilan los precios de cada artículo en la cesta en diferentes períodos de tiempo. Estos precios se pueden obtener a través de encuestas, estudios de mercado o datos de ventas.
3. **Cálculo del Índice de Precios:** Se calcula un índice de precios utilizando la fórmula:

$$IP \ = \ Indice\,de\,Precios \ = \ \left(\frac{Costo\,de\,la\,cesta\,en\,el\,año\,actual}{Costo\,de\,la\,cesta\,en\,el\,año\,base}\right) * 100 \quad \text{(3-2)}$$

   El año base es el punto de referencia utilizado para comparar los precios en otros años. Este índice de precios representa el nivel relativo de los precios en el año actual en comparación con el año base.

4. **Cálculo de la Tasa de Inflación:** La tasa de inflación se determina comparando los índices de precios en dos períodos de tiempo. La fórmula es:

$$T.\,de\,inflación \ = \ \left(\frac{IP\,en\,el\,año\,Actual - \ IP\,en\,el\,año\,Anterior}{IP\,en\,el\,año\,Anterior}\right) * 100 \quad \text{(3-3)}$$

No obstante debemos tener en cuenta que hay diferentes índices de precios, y cada uno puede tener en cuenta diferentes ponderaciones y metodologías. El Índice de Precios al Consumidor (IPC) es uno de los índices más comúnmente utilizados para medir la inflación, ya que refleja los precios de bienes y servicios consumidos por los hogares.

Otros índices, como el Índice de Precios al Productor (IPP), se centran en los precios a nivel de la producción.

- **Tasa de crecimiento de Consumo**

De acuerdo con Smith (2020) "El indicador de consumo de un país se refiere a una medida económica que cuantifica el total de bienes y servicios consumidos por los residentes de un país durante un período de tiempo específico, generalmente un año. Este indicador es una parte fundamental del Producto Interno Bruto (PIB) y se utiliza para evaluar el nivel de bienestar económico y la demanda interna de una economía".

El consumo se divide en dos categorías principales:

1. **Consumo público:** Comprende el gasto del gobierno en bienes y servicios destinados a la población, como educación, salud, defensa y administración pública.
2. **Consumo privado (o consumo de los hogares):**Incluye el gasto en bienes y servicios por parte de las familias y los individuos. Esto abarca desde productos básicos como alimentos y ropa, hasta servicios como educación, salud y entretenimiento.

La tasa de crecimiento del consumo se refiere al cambio porcentual en el gasto de consumo en una economía durante un período específico. Esta medida indica cómo ha evolucionado el gasto de los consumidores en bienes y servicios en comparación con un período anterior.

La fórmula básica para calcular la tasa de crecimiento del consumo es la siguiente:

$$TC.\ del\ consumo\ =\ \left(\frac{GC.\ año\ Actual\ -\ GC\ año\ Anterior}{GC\ año\ Anterior}\right) \times 100 \tag{3-4}$$

Donde:

- **TC**: Tasa de crecimiento
- **GC:** Gasto de consumo

Esta tasa de crecimiento se expresa como un porcentaje y muestra el cambio porcentual en el gasto de consumo. Un valor positivo indica un crecimiento en el gasto de consumo, mientras que un valor negativo indica una contracción.

La tasa de crecimiento del consumo es un indicador importante para evaluar la salud económica de un país. Un aumento en el gasto de consumo a menudo se asocia con un crecimiento económico positivo, ya que sugiere una mayor confianza de los consumidores y una actividad económica más robusta. Sin embargo, es crucial considerar otros factores, como la inversión, las exportaciones netas y la inflación, para obtener una imagen completa de la situación económica.

- **Tasa representativa del mercado.**

  Según el banco de la republica de Colombia (2022): "La Tasa Representativa del Mercado (TRM) es un indicador económico que representa el valor promedio ponderado del tipo de cambio del dólar estadounidense con respecto a la moneda local de un país en un día determinado. Es utilizada para diversas transacciones financieras y comerciales, así como para la valoración de activos y pasivos en moneda extranjera. La TRM es calculada y publicada diariamente por el banco central o la entidad financiera correspondiente en cada país".

  La TRM se obtiene a partir de la información sobre las transacciones de compra y venta de divisas realizadas en el mercado cambiarlo, considerando tanto las operaciones spot (al contado) como otras operaciones de cambio.

  Nota: En este trabajo la tasa representativa del mercado (TRM) fue definida como (Pre.Dolar)

3.2.2. Cultivos de coca en Colombia

Estimar la cantidad de hectáreas de coca cultivadas en Colombia es un desafío debido a la naturaleza clandestina de este cultivo. Sin embargo, varias agencias gubernamentales y organizaciones internacionales utilizan diversas metodologías para calcular estas cifras. Por ejemplo, la Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC) a menudo realiza análisis satélites y encuestas en el terreno para estimar la extensión de los cultivos de coca.

Desde el año 1986 la organización UNODC realiza una revisión sobre los territorios colombianos para realizar una estimación de cuantas hectáreas de tierra están siendo utilizadas para el cultivo de la hoja de la coca que es la base para la fabricación de la cocina y así realizar un análisis del crecimiento o decrecimiento de estos cultivos y como se encuentra el país en labores de erradicación. se tiene registro del comportamiento del cultivo de erithroxylon coca en Colombia y se ha venido registrando anualmente cuantas hectáreas de coca hay cultivadas en el país a final de cada año. Es importante tener en cuenta que estas estimaciones son solo aproximaciones.

3.3. Marco teórico estadístico

Con el fin de entender cada una de las técnicas estadísticas utilizadas para el desarrollo de este trabajo, se presenta la definición de algunos conceptos estadísticos fundamentales que serán empleados a lo largo del trabajo.

- **Función de probabilidad condicional**
  La función de probabilidad condicional hace referencia a la probabilidad de que una variable aleatoria tome cierto valor, considerando algunas condiciones o información adicional que pueda explicar su comportamiento. Por lo general cuando se habla de función de probabilidad en el contexto de series de tiempo, hace énfasis en su objetivo principal que es modelar la distribución de probabilidad de un valor futuro X_{t+1}, tomando en cuenta la información disponible hasta el momento t, Shumway & Stoffer (2017). Esto permite realizar pronósticos y estimaciones de valores futuros basados en la información histórica de la serie de tiempo.

$$X_t \sim p(X_t|...)$$

- **Parámetros tiempo variantes**
  Los parámetros tiempo variantes son aquellos que forman parte de un modelo cuyos valores no se mantienen constantes a lo largo del tiempo. Por ende, es crucial realizar una selección adecuada de técnicas y métodos apropiados para llevar a cabo la modelación. Esto permite capturar de manera precisa los cambios y variaciones en los parámetros a medida que transcurre el tiempo Lütkepohl (2005). Dicha elección influye significativamente en la capacidad del modelo para representar de manera precisa y realista los fenómenos en estudio.

- **Estimación por máxima verosimilitud**
  El método de estimación de máxima verosimilitud es una técnica estadística ampliamente utilizada y reconocida por su robustez. Su objetivo principal es encontrar los valores óptimos de los parámetros que maximizan la probabilidad de obtener los valores observados en un conjunto de datos, de acuerdo con una función de distribución de probabilidad específica Casella & Berger (2002). Este enfoque se basa en la idea de que los datos proporcionan información sobre los parámetros desconocidos, y la estimación de máxima verosimilitud busca encontrar los valores que hacen que los datos observados sean más probables bajo un modelo estadístico dado.

  La función de verosimilitud se encuentra definida de la siguiente forma:

$$L(\theta|X) = L(\theta_1, ..., \theta_k|x_1, ..., x_n) = \prod_{i=1}^{n} f(x_i|\theta_1, ..., \theta_k) \tag{3-5}$$

3.3.1. Componentes de serie de tiempo

Las componentes de una serie de tiempo, son todas las características con las que puede ser descrito su comportamiento. Siendo así, se consideran las componentes de tendencia, estacionalidad, ciclo, nivel y ruido.

- **Tendencia**
  La tendencia representa la dirección de desplazamiento general que sugieren los datos a lo largo del tiempo, en donde la tendencia puede ser ascendente, descendente o incluso no presentar tendencia clara.

  La tendencia determinística se refiere a un patrón sistemático y predecible de cambio en una serie de tiempo, es decir, indica una dirección clara y constante en el comportamiento de los datos a lo largo del tiempo. Por otro lado, la tendencia estocástica se refiere a las fluctuaciones irregulares y no predecibles que pueden estar presentes en una serie de tiempo. Estas fluctuaciones pueden deberse a factores aleatorios o estocásticos, como cambios económicos, políticos o ambientales imprevistos Shumway & Stoffer (2017).

- **Estacionalidad**
  La estacionalidad hace referencia a los patrones en el comportamiento de los datos, en un periodo determinado y que se repite a lo largo de la serie de tiempo. Un caso partitular de esto, se da en series de tiempo climáticas donde se ve involucrada la temperatura, mostrando evidencia de una componente estacional semestral, esto debido a las altas temperaturas en verano y las bajas temperatura en invierno.

- **ciclo**
  La componente cíclica hace referencia a fluctuaciones periódicas de los datos, pero a diferencia de la componentes estacional, esta ocurre en intervalos de tiempo mas largos, es decir, estas fluctuaciones pueden tener duración de años, manifestándose como periodos de expansión económica.

- **Level**
  El nivel (o "level.[en] ingles) de una serie de tiempo se define como el valor promedio o central alrededor del cual los datos fluctúan en un momento dado. Es una componente esencial que captura el valor base de la serie temporal sin considerar las variaciones debidas a la tendencia a largo plazo, la estacionalidad u otras fluctuaciones y en los modelos de estado espacio, el nivel es una de las variables del estado que se actualiza en cada periodo.

- **Ruido**
  La componente de ruido en el análisis de series de tiempo se refiere a las fluctuaciones irregulares y aleatorias presentes en los datos que conforman la serie de tiempo, es

decir, representa el componente estocástico de la serie, el cual puede ser causado por errores de medición, eventos aleatorios o factores externos que no están relacionados directamente con la serie de tiempo en estudio. Por ende, el ruido no sigue un patrón o estructura sistemática y su comportamiento es considerado totalmente aleatorio.

3.3.2. Correlación de Pearson

El coeficiente de correlación de Pearson cuando se aplica a una población típicamente se representa por la letra griega ρ **(rho)** y se refiere a ella coeficiente de correlación poluciónala o el coeficiente de correlación poluciónala de Persona.
Dado un par de variables aleatorias **(X,Y)**, el coeficiente de correlación poblacional de Pearson (también denotado por $\rho_{X,Y}$ se define como:

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{X\ Y}}{\sigma_X\ \sigma_Y} \ = \ \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{Var(X)\ Var(Y)}} \tag{3-6}$$

Donde:

- σ_{XY} es la covarianza de **(X,Y)**.
- σ_X es la desviacion estandar de la variable **X**
- σ_Y es la desviacion estandar de la variable **Y**

La correlación de Pearson, mide la fuerza o grado de asociación entre dos variables aleatorias cuantitativas que poseen una distribución normal bivariada conjunta Abellán (2016).

3.3.3. Modelo de regresión lineal

En estadística, la regresión lineal o ajuste lineal es un modelo matemático usado para aproximar la relación de dependencia entre una variable dependiente Y_i, un conjunto de variables independientes X_i y un error aleatorio ε Montgomery et al. (2012).

$$\begin{aligned} y \ &= \ \beta_0 + \sum_{i\ =\ 1}^{p} \beta_i X_i \ + \ \varepsilon \\ \hat{y} \ &= \ \beta_0 + \sum_{i\ =\ 1}^{p} \beta_i X_i \end{aligned} \tag{3-7}$$

donde:

- $i = 1, ..., p$
- y: es la variable dependiente.
- $\hat{y}$: es la estimación o valor esperado de la variable dependiente.
- X Es la matriz de variables utilizada para predecir a la variable dependiente
- β_0: es el intercepto de la recta con el eje Y, que representa el valor esperado de Y cuando X es cero.
- β_i: es la pendiente de la recta, que indica el cambio esperado en Y para cada unidad adicional de X.
- ε : es el término de error, que representa la diferencia entre los valores observados y los valores predichos por el modelo.

Estimación de los parámetros

En una ecuación de regresión lineal múltiple, se asociará cada predictor $(X_1, X_2, ...X_p)$ un coeficiente β_p que cuantificará la asociación entre el predictor en cuestión y la variable respuesta y. Comúnmente para estimar los coeficientes β_p de un modelo de regresión lineal múltiple se utiliza el método de mínimos cuadrados ordinarios MCO Montgomery et al. (2012). Aquí hay una descripción más detallada de este proceso:

1. Calcular la matriz de diseño X_p, que es una matriz de dimensiones $mx(n+1)$, donde m es el número de observaciones y n es el número de variables independientes más una columna adicional para el término constante (β_0).

2. Calcula el vector de parámetros β utilizando la fórmula:

$$\beta \ = \ \left(X^T X\right)^{-1} X^T y \tag{3-8}$$

   Donde:

   - X^T es la matriz transpuesta de X
   - $(X^T X)^{-1}$ es la matriz inversa de $X^T X$
   - $X^T y$ es el producto punto entre $X^T y$

3.3.4. metodo de ***

3.3.5. Modelo Generalized Autoregressive Score (GAS)

Los modelos GAS son modelos autoregresivos de score dinámico o componentes dinámicas, utilizado para la extracción de señales que se utilizan para la modulación de series de tiempos, específicamente en el mercado de precios Creal et al. (2013).

$$y_t \ \sim \ p(y_t|f_t, F_t, \ \theta) \tag{3-9}$$

Donde:

- $y_t \rightarrow$ Sea un vector de tamaño Nx1 $y_t = \{y_1, y_2, ..., y_t\}$ cuyas componentes contienen la variable dependiente de interés.
- $f_t \rightarrow$ Sea un vector de parámetro de tiempo variantes $f_t = \{f_0, f_1, ..., f_t\}$
- $F_t \rightarrow$ Sea el conjunto de información disponible $F_t = \{y^{t-1}, f^{t-1}, x^t\}$.
- $x_t \rightarrow$ Sea un vector de variables exógenas $x_t = \{x_0, x_1, ..., x_t\}$.
- $\theta \rightarrow$ Sea un vector de parámetros estáticos en el tiempo

La actualización de f_t esta dada por la siguiente ecuación autorregresiva:

$$f_{t+1} = \omega + \sum_{i=1}^{p} A_i s_{t-i+1} + \sum_{j=1}^{q} B_j f_{t-j+1} \tag{3-10}$$

$$f_{t+1} \ = \ \omega \ + \ A_1 s_t \ + \ B_1 f_t \tag{3-11}$$

Donde:

- $\omega \rightarrow$ Es un vector de constantes
- $A_i B_j \rightarrow$ Son coeficientes estimados con dimensiones apropiadas para i=1,...,p y j=1,...,q
- $s_t \rightarrow$ Es el score, una función que contiene los datos pasados $s_t = s_t(y_t, f_t, F_t; \theta)$; contiene toda la información probabilística del modelo

Cuando y_t es obtenida, se realiza la actualización de los parámetros tiempo variantes f_t al periodo f_{t+1}, por lo cual:

$$s_t = S_t.\nabla_t, \quad \nabla_t = \frac{\partial ln[p(y_t \mid f_t, F_t; \theta)]}{\partial f_t}, \quad S_t = S(t, f_t, F_t; \theta) \tag{3-12}$$

Donde:

- $s_t \rightarrow$ Se define como el producto de dos componentes $S_t.\nabla_t$
- $S_t \rightarrow$ Se asume como la función identidad $S_t = 1 \forall t$
- $\nabla_t \rightarrow$ Contiene la distribución de probabilidad que se asume para modelar y_t, a la cual se le aplica el ln a la función probabilística, y se calcula las derivadas parciales con respecto a f_t

3.3.6. Intervalos de confianza

Un intervalo de confianza es un rango de valores, calculado a partir de los datos muéstrales, que se utiliza para estimar un parámetro poblacional con un cierto grado de confianza. En otras palabras, es una estimación del rango dentro del cual se espera que se encuentre el valor verdadero del parámetro de la población, dado un nivel de confianza específico Casella & Berger (2002).

- **Definición**

  Un intervalo de $(1 - \alpha)100\,\%$ de confianza para la estimación de un parámetro poblacional θ que sigue una determinada distribución de probabilidad, es una expresión del tipo $[\theta_1, \theta_2]$ tal que $P(\theta_1 \leq \theta \leq \theta_2) = 1 - \alpha$ donde P es la función de distribución de probabilidad de θ.

- **Componentes de un intervalo de confianza**

  - **Estimador Puntual:** Es el valor calculado a partir de los datos muestrales que se utilizan como una estimación del parámetro poblacional de interés. Por ejemplo, la media muestral para estimar la media poblacional.
  - **Nivel de Confianza:** Es la probabilidad, expresada como un porcentaje, de que el intervalo de confianza contiene al parámetro poblacional verdadero. Por ejemplo, un nivel de confianza del $95\,\%$ indica que hay un $95\,\%$ de probabilidad de que el intervalo de confianza capture el parámetro poblacional.

- **Margen de error:** Es la cantidad que se suma y se resta al estimador puntual para formar el intervalo de confianza. Este margen de error depende principalmente del tamaño de la muestra y de la variabilidad de los datos.
- **Distribución de Probabilidad o Estimación de Error:** En la mayoría de los casos, se supone que la distribución de la muestra estadística (por ejemplo, la media muestral) sigue una distribución conocida, como la distribución normal o la distribución t de Student. Esto se utiliza para calcular el margen de error y, por lo tanto, el intervalo de confianza.

Intervalo de confianza para el valor esperado o la media (μ_t)

Un método para calcular intervalos de confianza para la estimación de series temporales es basándose en la distribución de los residuos proveniente de dicho modelo. Si estos residuos cumplen con ciertas condiciones se puede estimar un intervalo de confianza óptimo pata estimar el comportamiento de una variable Shumway & Stoffer (2017).

En el caso de que los residuos del modelo cumplan con la condición de que provienen de una distribución de referencia normal, con varianza constante a través del tiempo se puede estimar un intervalo de confianza como:

$$\hat{\mu} \ - \ Z_{(1-\alpha/2)}SE(\ \hat{\mu}) \ \leq \mu \ \leq \hat{\mu} \ + \ Z_{(1-\alpha/2)}SE(\ \hat{\mu}) \tag{3-13}$$

Donde

- $\hat{\mu}$ Es el valor esperado de la variable dependiente del modelo.
- $Z_{1-\alpha/2}$ es el valor en la distribución normal estándar con $(1-\alpha)$ nivel de confianza.
- SE es el error cuadrático medio del modelo o también se le conoce como la estimación de la desviación del modelo $\hat{\sigma}$ que se estima como:

$$SE(\hat{y}) \ = \ \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i\ =1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2} \tag{3-14}$$

Intervalo de confianza para (β_1) en un modelo de regresión.

- El modelo de regresión lineal se puede expresa como:

$$y \;=\; \beta_0 + \sum_{i\,=\,1}^{p} \beta_i X_i \;+\; \varepsilon \tag{3-15}$$

donde y es la variable dependiente, x es la variable independiente, β_0 es el intercepto, β_p son los coeficientes de las variables independientes, y ε es el término de error aleatorio.

- Utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios (MCO) para estimar los coeficientes $\hat{\beta}_0, \hat{\beta}_p$ se obtiene que el error estándar de los coeficientes estimados $\hat{\beta}$ se puede calcular a partir de la matriz de varianza-covarianza de los estimadores MCO.
- Para el modelo de regresión simple, la varianza del estimador $\hat{\beta}_1$ es:

$$var(\hat{\beta}_1) \;=\; \sigma^2 \left(\frac{1}{\sum (x_i - \overline{x})^2} \right)$$

Donde σ^2 es la varianza del término de error, que se estima a partir del residuo del modelo:

$$\hat{\sigma}^2 \;=\; \frac{\sum \left(y_i - \widehat{y_i}\right)^2}{n-2}$$

El error estándar de $\hat{\beta}_1$ es:

$$SE(\hat{\beta}_1) \;=\; \sqrt{var(\hat{\beta}_1)} \;=\; \sqrt{\hat{\sigma}^2 \left(\frac{1}{\sum (x_i - \overline{x})^2} \right)}$$

- El valor crítico se obtiene de la distribución t de Student, con $n-2$ grados de libertad (donde n es el número de observaciones) y para un nivel de confianza $1-\alpha$, el valor crítico $t_{\alpha/2}$ se obtiene de las tablas de la distribución t, Ver Mood et al. (1974).
- Finalmente tenemos que el intervalo de confianza para el coeficiente β_1 es:

$$\hat{\beta}_1 - t_{(\alpha/2)} * SE(\hat{\beta}_1) \quad \leq \beta_1 \;\leq\; \hat{\beta}_1 + t_{(\alpha/2)} * SE(\hat{\beta}_1) \tag{3-16}$$

4. Metodología

En este capitulo representa el conjunto sistemático de métodos, técnicas y procedimientos que se emplean para recolectar, analizar e interpretar datos, con el fin de responder a las preguntas de investigación o probar las hipótesis formuladas. Incluye varios componentes esenciales, como el diseño de la investigación que depende de los objetivos del estudio. También abarca la descripción detallada de la muestra. Los instrumentos de recolección de datos, el procedimiento describe paso a paso cómo se llevarán a cabo las actividades de recolección de datos, mientras que el análisis de datos detalla las técnicas y herramientas que se utilizarán para examinar los datos recolectados, como análisis estadísticos o cualitativos.

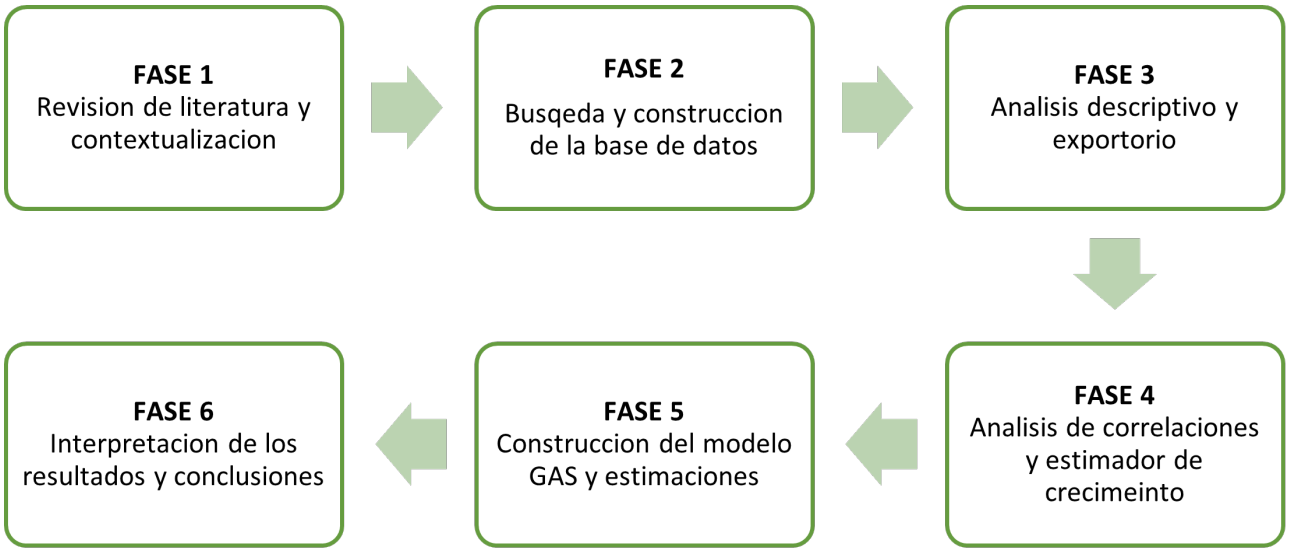


Figura 4-1.: Proceso metodológico utilizado

En la figura (**4-1**) se observa el paso a paso a realizar en el estudio para llegar a la solución de los objetivos planteados y la obtención de conclusiones óptimas para el análisis de las hectáreas cultivadas de coca en Colombia.

4.1. FASE 1: Revisión de literatura y connaturalización

Inicialmente, se llevó a cabo una búsqueda exhaustiva de artículos en diversas fuentes de internet y servicios en línea de información científica para obtener datos e información sobre los cultivos, producción y fabricación de los derivados de la hija de coca en Colombia, así como en países de América latina. Esta etapa permitió establecer una base de conocimiento sobre el concepto. Posteriormente, se procedió a realizar una búsqueda exhaustiva de modelos que describieran el comportamiento de los cultivos de coca o similares a lo largo de los años en diferentes de América latina. Esta investigación se complementó con estudios que examinaban la relación de los cultivos con factores externos, directamente factores económicos. Como último paso, se realizó una revisión bibliográfica en torno a la percepción internacional sobre Colombia en el tema de cultivos de coca y que efecto tiene sobre si esta percepción. Finalmente se realizó un Estudio conceptual sobre cada una de las variables que podrían hacer parte de la investigación.

4.2. FASE 2: Búsqueda y construcción de la base de datos

4.2.1. Construcción de una base de datos.

Se realizo una rigurosa investigación sobre que variables pueden representar de forma significativa el comportamiento de la economía de una nación con el fin de que la investigación tome un buen enfoque desde el sector económico y pueda representar de forma correcta el desarrollo económico del país. No obstante, es necesario que estas variables cumplieran con el requisito de que tuviera registro desde el año 1986 con una periodicidad de 1 año.
Dado esto obtuvimos una base de datos que está constituida con:

- 1 variable que representa la estimación del número de hectáreas cultivadas de plantas de coca a nivel nacional. Esta variable fue obtenida de la UNODC (Oficina de Naciones Unidas conta la Droga y el Delito) que anualmente realiza un estudio sobre el comportamiento de los cultivos ilícitos en Colombia.

Tabla 4-1.: Variable objetivo de estudio

Simbolo	Variable	Unidad de medida	Tipo de variable	Rango
HC	Cultivos de coca	Hectareas cultivadas (h)	Cuantitativa	$[0, \infty)$

- 7 variables que representan el sector microeconómico y macroeconómico de Colombia. Estas variables fueron obtenidas de plataformas derivadas de entidades oficiales del estado colombiano como el DANE (Departamento Administrativo Nacional de Estadística), la DIAN (Dirección de Impuestos y Aduanas Nacionales), Banco Nacional de la república, entre otros.

Tabla 4-2.: Variables económicas

Variables economicas				
Símbolo	**Variable**	**Unidad de medida**	**Tipo de variable**	**Rango**
C. PIB	Crecimiento del PIB de los colombianos	Tasa de de variación (%)	cuantitativa continua	$(-\infty, \infty)$
C. Consumo	Crecimiento del consumo o el gasto de los colombianos	Tasa de de variación (%)	cuantitativa continua	$(-\infty, \infty)$
T. Desempleo	Desempleo en el país	Porcentaje (%)	cuantitativa continua	$[0, 100]$
IPC	Índice del precio del consumidor	Índice de variación (%)	cuantitativa continua	$(-\infty, \infty)$
I	inflación	Tasa de variación (%)	cuantitativa continua	$(-\infty, \infty)$
Pre. Dolar	Tasa representativa del mercado (USD)	Peso colombianos ($)	cuantitativa continua	$(0, \infty)$
CSM	Crecimiento del salario mínimo	Tasa de variación (%)	cuantitativa continua	$(-\infty, \infty)$

4.2.2. Depuración de la base de datos.

Se revisara la consistencia en cada una de las variables que hacían parte de la base de datos, la coherencia y que estuviera definida correctamente cada una de estas variables. Además de esto, también se revisó comportamiento y el grado de datos faltantes que podría tener, del cual se obtuvo un 0 % de datos faltantes.

4.3. Fase 3: Análisis descriptivo y exploratorio

Mediante métodos gráficos realizados en R tales como histogramas, diagramas de barras, gráficos de series temporales se estudiara el comportamiento de cada una de las variables donde se tendrá en cuenta:

- Realizar un minucioso y detallado análisis del comportamiento de las hectáreas cultivadas de coca en el país determinando sus parámetros de escala y de forma y estudiando su comportamiento atreve del tiempo.
- Estudiar el comportamiento de las variables que representan el desarrollo económico del país individualmente para determinar características y singularidades en cada una de ellas que permitan determinar el comportamiento de si mismas.

4.4. FASE 4: Análisis de correlaciones

4.4.1. Análisis de correlación

La correlación de Pearson, también conocida como coeficiente de correlación de Pearson (r), es una medida estadística que evalúa la fuerza y la dirección de la relación lineal entre dos variables continuas.

$$\rho_{X,Y} = \frac{\sigma_{X\ Y}}{\sigma_X\ \sigma_Y} = \frac{Cov(X,Y)}{\sqrt{Var(X)\ Var(Y)}}$$

A continuación, se detalla la metodología para interpretar la correlación de Pearson:

- **r = 1:** Correlación positiva perfecta. Indica que las dos variables aumentan o disminuyen juntas en una relación lineal perfecta.
- **r = 0:** No hay correlación lineal entre las variables. Sin embargo, puede existir una relación no lineal.
- **r = -1:** Correlación negativa perfecta. Indica que una variable aumenta mientras la otra disminuye en una relación lineal perfecta.

Utilizando este indicador se determinara que tan fuerte es la relación entre algunos de los indicadores económicos mas representativos de Colombia y a su vez se determinara la fuerza de relación lineal que existe entre estos y las hectáreas cultivadas de coca en el país.

4.5. FASE 5: Estimador de crecimiento de las hectáreas cultivadas

Se propone una alternativa para determinar el estimador de crecimiento debido a que por la naturaleza de la variable de respuesta (HC) se espera que exista auto-correlación en el tiempo, por este motivo se propone una alternativa que incorpora la estimación por MCO de los parámetros de un modelo de regresión lineal que podemos utilizar como estimador de crecimiento.

- Se determinará el estimador de crecimiento de las hectáreas cultivadas de coca en Colombia como:

  $$y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + \beta_2 y_{t-1} + \varepsilon_t$$

  Donde y_t es la variable dependiente que deseamos estimar, y_{t1} es la misma variable dependiente solo que en el tiempo $t1$, x es el indicador económico que mas relacionada este con las hectáreas cultivadas de coca, esto quiere decir que tenga una correlación mas alta y $_1$ va a ser el indicador de crecimiento y ε_t es el error producido por la estimación.

- Debido a que las variables de este estudio están definidas como **series temporales**,se determinara si la auto-correlación en los residuos del modelo significativa y dado el caso en que si sea significativa se realizara un un ajuste a este modelo como propone Stock & Watson (2015):

  1. **Estimación inicial del modelo:** Se estima un modelo de regresión lineal $y_t = \beta_0 + \beta_1 x_t + u_t$, donde y_t es la variable dependiente, x_t es la variable independiente y u_t es el término del error.

2. **Detección de auto-correlación:** Se calcula la auto-correlación de primer orden de los residuos del modelo estimado, generalmente utilizando el coeficiente de Durbin-Watson o la función de auto-correlación.
3. **Transformación de las variables:** Se le Aplica la transformación de Prais-Winsten a las variables:
   - La transformación para la variable dependiente: $y_t^* = y_t - \rho y_{t-1}$
   - La transformación para las variables independientes: $x_t^* = x_t - \rho x_{t-1}$

   Donde ρ es el coeficiente de auto-correlación estimado.
4. **Estimación del modelo transformado:** Se estima el modelo de regresión utilizando las variables transformadas como:

$$\begin{aligned} y_t^* &= \beta_0(1-\rho) + \beta_1 x_t^* + u_t^* \\ \hat{y}_t^* &= \beta_0(1-\rho) + \beta_1 x_t^* \end{aligned} \tag{4-1}$$

   Se ajusta el modelo de regresión a las variables transformadas para obtener las estimaciones corregidas de los parámetros.

El estimador de crecimiento esta dado por β_1 y se determina un intervalo de confianza denotado por:

$$\beta_1 = \hat{\beta}_1 \pm t_{(\alpha/2)} * SE(\hat{\beta}_1) \tag{4-2}$$

4.6. FASE 6: Construcción del modelo GAS y estimaciones

En este apartado se precisa el proceso de implementación del modelo propuesto, detallando la asignación de distribución de probabilidad y los pasos seguidos para desarrollar el modelo en el contexto de estudio. Se explican los métodos y las herramientas utilizadas, así como el conjunto de datos empleados, las decisiones de preprocesamiento y los análisis posteriores.

4.6.1. Construcción de un modelo GAS preliminar

Transformación de las variables y distribución de probabilidad

Considerando que la escala de las variables independientes del modelo tiene una escala de medida muy diferente a la variable objetivo de estudio, se determino que era pertinente una

transformación en las variables y se opto por la estandarización de cada una de ellas.

$$Z_i \;=\; \frac{x_i - \mu}{\sigma}$$

Donde $Z_i \sim N(\mu = 0, \sigma = 1)$

Con esta transformación aplicada en cada una de las variables tiene distribución normal, la cual sera utilizada en la distribución del modelo.

Estimación del modelo

Considerando el modelo $y_t = \mu_t \varepsilon_t$ donde ε_t sigue una distribución Normal con densidad $\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ con media μ y varianza constante $\sigma = \kappa$. Utilizando el cambio de variable para modelar la media condicional μ_t de y_t, donde $\varepsilon_t = \frac{y_t}{\mu_t}$ se obtiene la densidad del modelo como:

$$p(y_t;\;\; \mu_t) \;=\; \frac{1}{k\sqrt{2\pi}} e^{\,-\frac{(y_t-\mu_t)^2}{2k^2}} \tag{4-3}$$

De lo anterior se obtiene el score $s_t = S_t(\mu_t)\nabla_t(\mu_t)$ donde:

$$\nabla_t(y_t, \mu_t) \;=\; \frac{\partial log(p(y_t;\; \mu_t))}{\partial \mu_t} \;\;;\;\;\;\; S_t\;(\mu_t) \;= \Im_{t|t-1}^{-1} \tag{4-4}$$

De tal forma, se determina que la función del modelo cuenta con la siguiente estructura:

$$\mu_{t+1} \;=\; \omega_{t+1} \;+ \sum_{i\;=\;1}^{n} \beta_i x_{ti} \;+\; s_t \tag{4-5}$$

donde

$$w_{t+1} \;=\; w_t \;+\; \eta_t \;;\;\;\;\;\; \eta_t \;\sim\; N(0,\; \kappa) \tag{4-6}$$

Mecanismo de estimación del modelo

La aplicación de Time Series Lab permite modelar series de tiempo no lineales basándose en los modelos de puntuación auto-regresivos generalizados o modelos dinámicos (GAS), ofreciendo diferentes distribuciones de probabilidad que permiten trabajar en cualquier caso y una variedad de componentes que permiten adaptarse a los cambios en el tiempo de una

serie temporal. Para esta situación en particular, ofrece la distribución Normal con media μ y varianza constante κ.

4.6.2. Ajuste del modelo GAS

Para obtener un modelo de estimación óptimo, se realizan diferentes procesos que permiten ajustar el modelo a tal punto donde pueda simular de forma correcta el comportamiento de la variable dependiente del modelo como:

- **Reducción de variables:** Consiste en elimina las variables del modelo que tienen que proporcionan poca o ninguna varianza, ya que no aportan información útil al modelo.
- **Control de los valores atípicos:** Debido a que algunas variables independientes del modelo cuentan con valores atípicos, se utiliza un mecanismo que controla el aporte de esta variable cuando hay presencia de un valor atípico.

  Esto se realiza mediante la inclusión de una variables con la característica de que va a ser 1 si la variable de interés en el tiempo t es un valor atípico y 0 en el resto de los casos.

Finalmente se estudia el comportamiento de los residuos del modelo y se verifica que cumpla con los supuestos establecidos como lo son:

- No correlación de los residuos.
- Normalidad de los residuos.
- Independencia de residuos.
- Homoscedasticidad.

4.6.3. Análisis del modelo

Para el análisis, fue pertinente de acuerdo a los objetivos de la investigación modelar el valor esperado de la variable dependiente, debido a que tiene un un comportamiento fluctuante entre crecimientos y decrecimientos, por lo que agregar un componente que siguiera este incremento en el tiempo, permitió modelar los cambios en la serie y no estrictamente verse influenciado por su tendencia. En vista de lo anterior, se implementó un componente de caminata aleatoria (nivel), denotado por ω_{t+1}, el cual depende de sus valores pasados mas un stock aleatorio.

4.6.4. Estimaciones

La estimación se realizara por medio del valor esperado de la variable dependiente utilizando el modelo GAS finalmente ajustado y independientes para cada uno de los años objetivo de estudio, además de esto se calculan intervalos de confianza que permite mejorar la interpretación y definir un rango esperado de la variable respuesta, ver 4-7.

$$\mu = \hat{\mu} \pm t_{(\alpha/2)} SE(\hat{\mu}) \tag{4-7}$$

4.7. FASE 7: Interpretación de los resultados y conclusiones

Para esta fase se realiza un proceso de análisis de los resultados obtenidos de forma dinámica y dándole respuesta a cada uno de los objetivos planteados en la investigación, ofreciendo ideas claras y concisas que permiten contrastar las ideas planteadas con cada uno de los resultados obtenidos.

5. RESULTADOS

En este capitulo se presentan los datos y hallazgos obtenidos a partir del análisis de la información recolectada durante el estudio y la realización de este proyecto. Estos resultados responden a las preguntas de investigación, permiten evaluar las hipótesis planteadas y se presentan de manera clara y organizada, utilizando tablas, gráficos, y descripciones detalladas para facilitar su comprensión.

5.1. Análisis descriptivo

5.1.1. Cultivos de coca en Colombia

El comportamiento de los cultivos de coca en Colombia ha sido objeto de atención y preocupación tanto a nivel nacional como internacional debido a su impacto en la economía, la seguridad y el medio ambiente. Según el estudio *Colombia: Monitoreo de Cultivos de Coca 2019* (2020), Colombia ha sido históricamente uno de los principales productores de cocaína en el mundo, y los cultivos de coca se concentran principalmente en regiones montañosas y selváticas, especialmente en departamentos como Nariño, Putumayo, Cauca y Norte de Santander. No obstante en algunos otros sectores del país también existen registros de estos cultivos en sus territorios. Por ende al realizar un análisis general de los cultivos de coca en todo el territorio colombiano se obtuvieron las estadísticas descriptivas presentadas en la tabla (**5-1**), donde podemos observar que según los registros que existen entre 1986 y 2020 en promedio, por año colombina tiene aproximadamente 84.158 hectáreas de coca cultivadas en su territorio.
En el periodo de tiempo entre 1986-2020 se observo que el mínimo valor de hectáreas cultivadas de coca en Colombia consta de un total de 22.500 hectáreas y este valor se encuentra situado en el año 1987. Del mismo modo, se determino un máximo de hectáreas cultivadas de 171.495 en el año 2017.Estos datos muestran un alto índice de variabilidad, la cual se ve representada en la desviación típica y un coeficiente de variación los cuales toman un valor de 44.959 y 53 % respectivamente .

A su vez se encontró que aproximadamente el 25 % de los años colombina tuvo menos de 46.244 hectáreas de coca cultivadas en si territorio, un 50 % de los años tuvo menos de 78.000 hectáreas de coca cultivadas, donde se observo que existe una diferencia importante entre la media y la mediana de los datos, esto nos induce a pensar que existe asimetría en la

Tabla 5-1.: Hectareas cultivadas

	HC
Media	84159,686
Varianza	2018307348,273
Desv. estandar	44925,576
Coef. de variacion	53 %
Minimo	22500
Q1	46244
Mediana	78000
Q3	101900
Maximo	171495

distribución de los datos. Finalmente se encontró un 75 % de los años estudiados tuvieron menos de 101.900 hectáreas de coca cultivadas.

Distribución de las hectáreas cultivadas de coca

Se realizo un histograma y un diagrama de cajas (ver figura **5-1**) para observar de forma gráfica el comportamiento, la dispersión y determinar si hay presencia de datos atípicos en la distribución del las hectáreas cultivadas de coca.

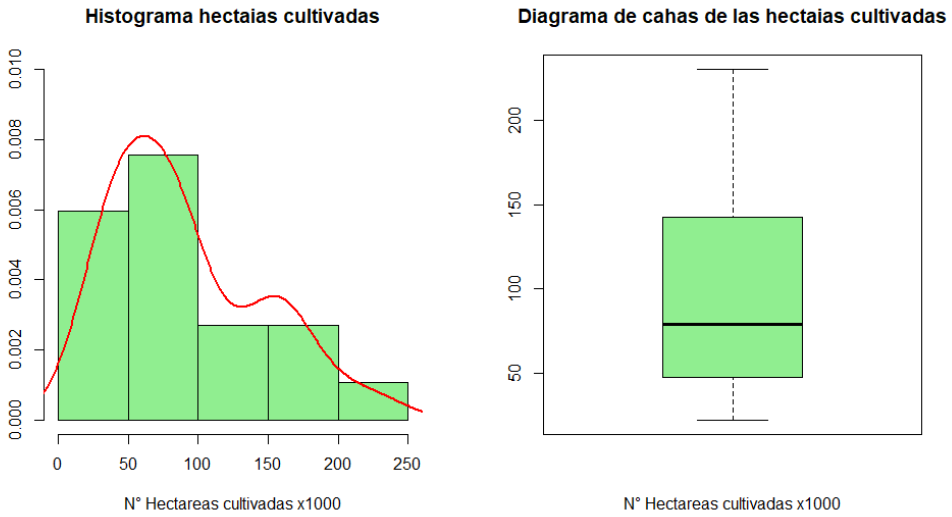


Figura 5-1.: Comportamiento descriptivo de las Hectáreas cultivadas de coca en Colombia

En el histograma presentado en la Figura **5-1** en el cual presenta en el eje X el numero de

hectáreas cultivadas divididas entre 1.000 y en el eje Y la densidad de las hectáreas en el cual se percibe una asimetría positiva o hacia la derecha en la distribución de los datos, la cual se puede apreciar mejor con la linea de tendencia de los datos la cual esta en color rojo. De este histograma también se observo que la mayoría de los años Colombia tuvo entre 50.000 y 100.000 hectáreas de coca cultivadas en su territorio.

Continuando con el lado derecho de la Figura **5-1** la cual presenta la representación gráfica de los datos sobre las hectáreas cultivadas de coca en forma de diagrama de caja la cual muestra de forma mas clara la dispersión de los datos y la asimetría presente en estos datos. Como dato particular se observo que a pesar de la alta dispersión encontrada en la distribución de los datos no hay presencia de datos atípicos que puedan justificar la alta variabilidad o que puedan distorsionar la interpretación de la variable.

Hectáreas cultivadas de coca en colombina a través del tiempo.

Se observo que el comportamiento de los cultivos de coca en Colombia desde 1986 hasta el 2020 ha experimentado diversas tendencias y fluctuaciones debido a una serie de factores económicos, políticos y sociales, esto ha provocado tendencias de crecimiento y decrecimiento progresivos en diversos periodos de tiempo como se aprecia en la figura **5-2**.

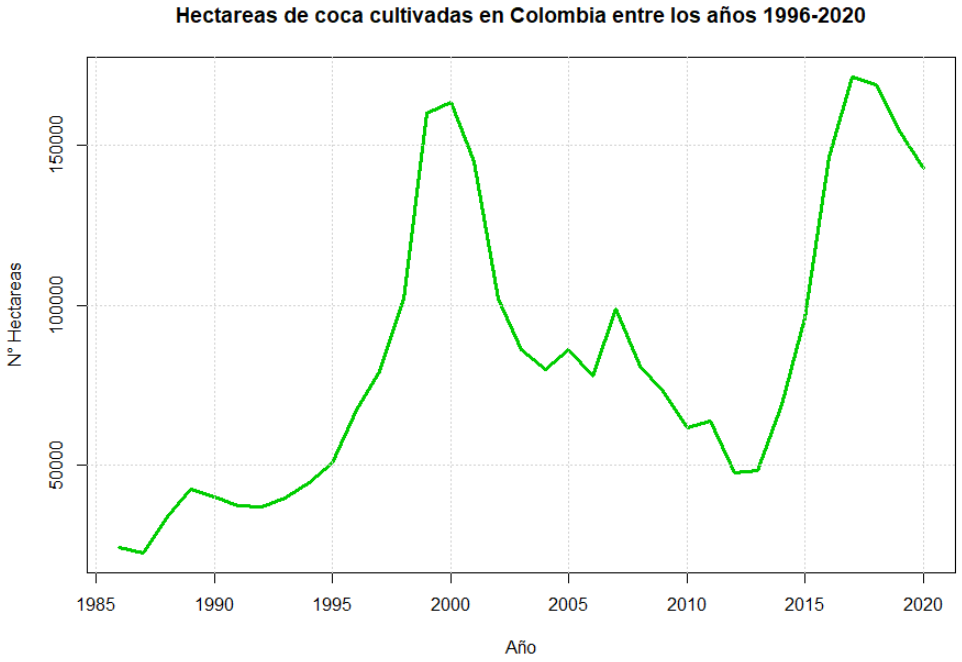


Figura 5-2.: Comportamiento temporal de las Hectáreas cultivadas de coca en Colombia

En los primeros años donde se realizo la inspección del territorio colombiano en búsqueda de información sobre los cultivos de la planta de coca se obtuvieron registros por debajo de las 50.000 hectáreas cultivadas, un valor relativamente bajo comparado con los registros que se obtuvieron los posteriores años.

A partir del año 1992 hasta finales de la década de los 90's se observo un auge en los cultivos de coca en Colombia. Estos cultivos tuvieron un acelerado crecimiento exponencial a tal punto que para el año 2000 teníamos un pico o máximo relativo de 163.300 hectáreas de cultivadas de coca en el país. Este período coincidió con un aumento en la demanda mundial de cocaína y la expansión de los grupos armados ilegales que controlaban la producción y el tráfico de drogas en el país.

Luego de este pico y luego de dar inicio a la década de los 2000's las hectáreas de coca cultivadas en Colombia tuvieron un decrecimiento considerable hasta mediados de la década donde se regulo un poco la tendencia decreciente y finalizo la década con un decrecimiento mas leve que en los años previos de la década. De acuerdo con (Mejía & Restrepo 2016) la razón por la que se da este cambio en el estado de los cultivos de coca en Colombia es debido a que a principios de la década de 2000, el gobierno colombiano implementó el Plan Colombia, con el apoyo financiero y militar de Estados Unidos, con el objetivo de combatir el narcotráfico y la insurgencia. Como resultado de este plan y otras medidas de control, hubo una disminución temporal en los cultivos de coca y la producción de cocaína.

A pesar de que a inicios de la década de 2010 los cultivos de coca siguieron disminuyendo, 2 años después del inicio de esta década, al rededor del año 2012 los cultivos de coca reincidieron a un crecimiento exponencial el cual genero que en el año 2017 se obtuviera el máximo alcanzado de 175.495 hectáreas cultivadas de coca en total, un incremento del 259 % en este corto periodo de tiempo. Esto se debió en parte a factores como la persistencia de la demanda internacional de cocaína, la debilidad de la implementación de programas de sustitución de cultivos y la presencia continua de grupos armados ilegales que controlan territorios productores de coca.

Por ultimo se observo que finalizando la década de 2010, entre el 2018 y 2020 se observo un decrecimiento importante en las hectáreas cultivadas de coca, lo cual es un alivio para el gobierno nacional.

Crecimiento de las hectáreas cultivadas de coca en Colombia

Así mismo como se estudio el comportamiento de el total de hectáreas de coca cultivadas en el periodo de tiempo mencionado, también se realizo el estudio del crecimiento por año el cual esta plasmado en la figura **5-3**. De esta investigación se determino que en promedio

el crecimiento por año de estos cultivos en Colombia esta cerca del 7.59 % por ende se pudo determinar que a largo plazo el total de hectáreas cultivadas en Colombia podría seguir aumentando si el país conserva la misma situación.

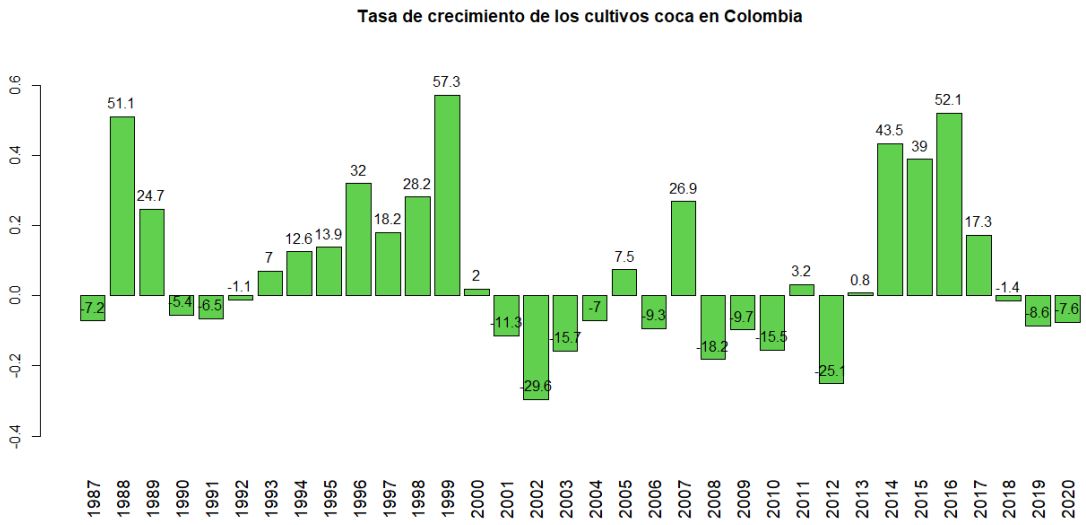


Figura 5-3.: Tasa de crecimiento de los cultivos de coca en Colombia en referencia al año anterior.

Se observo que en años como 1988, 1999 y 2016 el crecimiento de los cultivos de coca en Colombia supero el 50 % con respecto al total de hectáreas que habían cultivadas el año anterior, esto indica que las medidas de prevención y de regulación implementadas por el gobierno nacional no estaban siendo efectivas en estos años, no obstante, también se observo que luego de tener este alto crecimiento, para los años 3 posteriores a esta situación se observo un gran decrecimiento en esta tasa, llegando al punto donde obtenemos una tasa negativa que indica que el total de hectáreas cultivadas empezó a decrecer.

El año 2002 obtuvo el menor crecimiento observado, lo que significo un -29.6 % menos hectáreas cultivadas que el año previo, un decrecimiento muy importante que solvento el crecimiento desmedido que se habría observado en años previos, donde Colombia tuvo el pico máximo de crecimiento de hectáreas cultivadas de coca del 57.3 %.

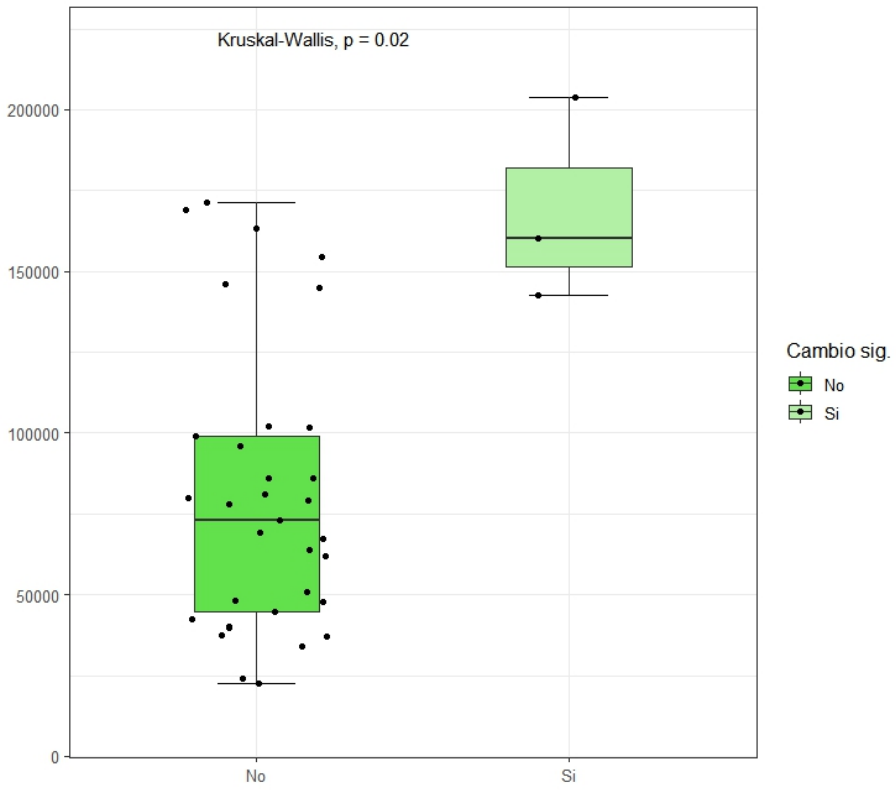


Figura 5-4.: Diagrama de cajas del número de hectáreas cultivadas de coca dado un cambio significativo en el tasa de crecimiento del PIB.

En la figura **5-4** se observa el cambio en el numero de hectáreas cultivas de coca en el país cuando existe un cambio significativo en la economía nacional. Se determino que cuando la economía colombiana transcurre con normalidad la mediana de 73.139 (Q1-Q3: 44.700 - 99.000) hectáreas cultivadas de coca, mientras que en los años que se registro un cambio significativo en el crecimiento del PIB cuenta con una mediana de 160.100 (Q1-Q3: 151.442 - 182.050) hectáreas cultivadas de coca. Se determino que existen diferencias significativas en el numero de hectáreas cultivadas luego de un cambio significativo en el desarrollo económico del país (valor-p: 0.02).

5.1.2. Desarrollo económico de Colombia entre 1986 y 2020

Teniendo esto en cuenta se observo el comportamiento de algunas de las variables que representan la economía nacional las cuales son: el PIB, la inflación, el consumo o gasto de los habitantes, el salario mínimo, el precio del dolar y el desempleo. La descripción de estas variables en términos de tasa de crecimiento esta plasmada en la tabla **5-2**.

Tabla 5-2.: Variables económicas

	PIB C	Inflacion	Consumo C	C/ Salario Minimo	Pre. Dolar	Tasa de desempleo
Media	3,336	11,816	2,850	12,954	1776,774	11,5187
Varianza	7,434	88,762	6,977	69,238	912319,870	8,4811
Desv. estandar	2,726	9,421	2,641	8,321	955,154	2,9122
Coef. de variacion	82 %	80 %	93 %	64 %	54 %	25 %
Mínimo	-6,796	1,612	-5,948	3,64	194,3	7,80
1er cuartil	2,296	3,945	1,959	6,15	869,85	9,40
Mediana	3,913	6,993	3,134	7,83	1899	11,06
3er cuartil	5,168	21,271	4,333	21,055	2431,5	12,44
Maximo	6,948	32,369	6,150	27	3693	20,52

Desde el enfoque estadístico se puede observar en la tabla **5-2** que en general y a través de los años los indicadores económicos han ido variando considerablemente con respecto a la media, superando el 50 % de variabilidad en 6 de los 7 indicadores económicos del país. El único indicador que no cumple con esta condición es la tasa de desempleo, el cual no supera un coeficiente de variación del 25 %.

Distribucion

La figura **5-5** que representa el comportamiento en la distribución de cada una de las variables económico se observaron diferente particularidades en cada uno de los casos particulares en las variables:

- **PIB:** En términos de la tasa de crecimiento del PIB se determino que presenta un comportamiento simétricos a la cual se le puede asumir una distribución normal con presencia de 2 datos atípicos inferiores que representan los años 1999 y 2020.
- **Consumo:** El consumo tiene un comportamiento semejante al del PIB el cual se le puede asumir el comportamiento de una distribución normal con 2 datos atípicos inferiores en los años 1999 y 2020.
- **Desempleo:** El desempleo es una variable que se ha comportado normalmente con una varianza no muy alta no obstante cuenta con l presencia de 2 datos atípicos en la parte superior representan por los años 1999 y 2000.
- **Inflación:** La inflación es una variable asimétrica negativa con alta varianza, que presenta una media por debajo de la mediana y muy cercana al Q_1, por esta razón no se le puede asumir un comportamiento normal, no obstante, no cuneta con datos atípicos en su distribución.
- **Pre. dolar:** La tasa de cambio del dolar presenta una alta variación entre sus datos y la media se encuentra cercana al Q_3, debido a esto podemos asumir que el precio del dolar presenta una distribución asimétrica positiva y no cuenta con la presencia de datos atípicos.

- **C. Salario** El crecimiento del salario mínimo es una variable asimétrica negativa con alta varianza, que presenta una media por debajo de la mediana y muy cercana al Q_1, por esta razón no se le puede asumir un comportamiento normal, no obstante, no cuneta con datos atípicos en su distribución.

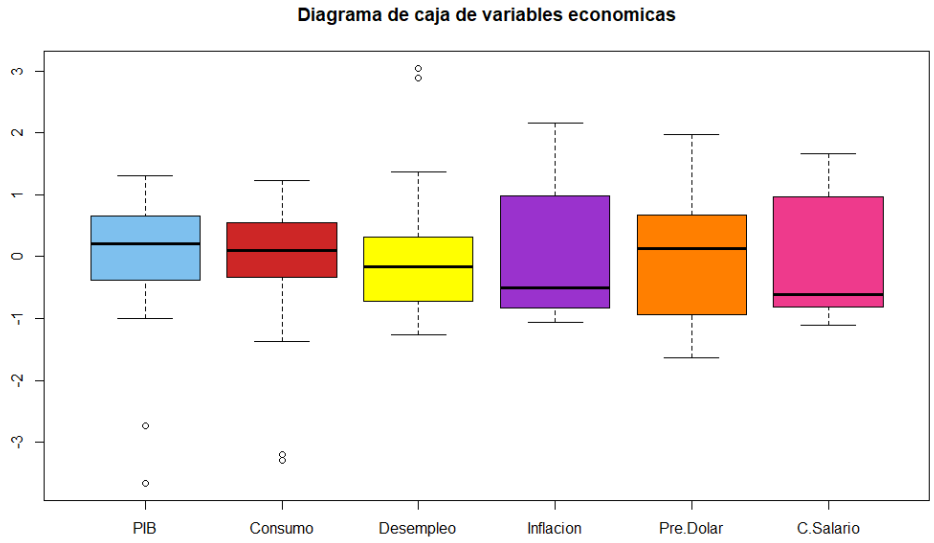


Figura 5-5.: Distribución de las variables que representa el desarrollo economico en Colombia entre los años 1986 - 2020

Descripción temporal

En la figura **5-6** se puede observar el comportamiento de las variables que van a representar la economía en este estudio donde se observo cierta similitud el el comportamiento de algunas de ellas.

En el caso de la tasa de crecimiento del PIB y la tasa de consumo o gasto de los colombianos se observo que ambas tienen un comportamiento regular aproximadamente entre el 2 % y 6 % por año, pero en año 1999 ambos indicadores tomaron valores negativos, cerca del -4 % y el -6 % respectivamente, representando que el desarrollo económico del país tuvo un fuerte cambio negativo en este año en comparación que lo que se venia observando en los últimos años. Caso similar sucede en el año 2020, con la diferencia de que en este año se llego al pico máximo de decrecimiento en el desarrollo económico del país.

Por otro lado, se observan las variables de crecimiento del salario mínimo y lo que es la inflación anual, se determino una gran similitud en su comportamiento y en su rango. Se observo una tendencia creciente en los primeros años, no obstante a partir del año 1990

inicio un decrecimiento constantemente regular hasta el año 2010, siendo que en los últimos años se ha regulado el crecimiento y decrecimiento de esta variable y se ha mantenido mas constante en ambas variables.

Por ultimo, se tiene el comportamiento de la tasa de cambio del dolar a peso colombiano y la tasa de desempleo donde no se observo mucha similitud entre estas variables, donde se determino que la tasa de cambio del dolar tiene una tendencia creciente, mientras que la tasa de desempleo tiene un comportamiento mas constante y a pesar de que a mediados de la década de los 90's inicio un crecimiento determinante, al inicio de la siguiente década, se registro un decrecimiento significativo que regulo de nuevo el comportamiento de esta variable.

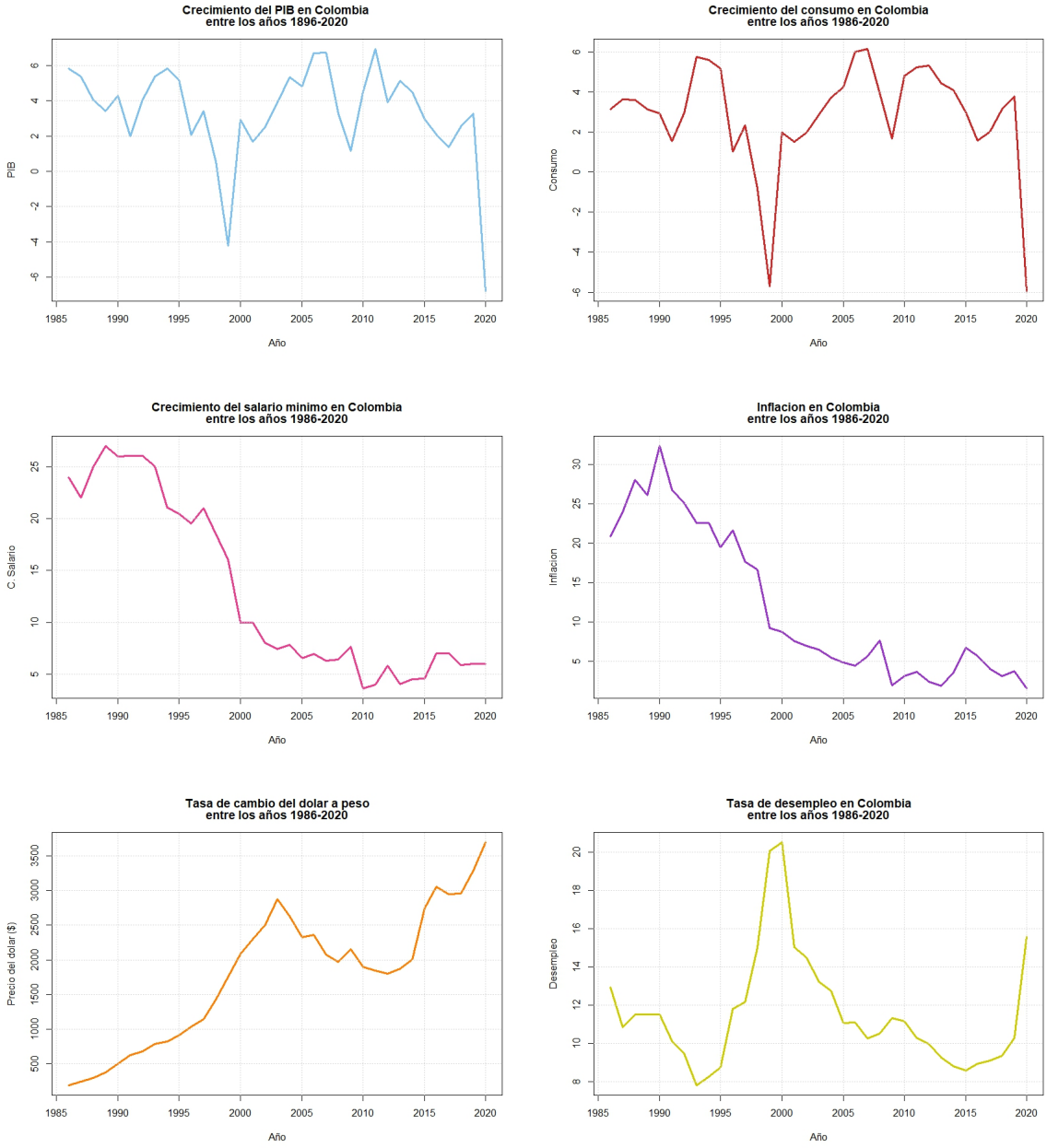


Figura 5-6.: Comportamiento económico en Colombia entre los años 1986-2020

5.2. Correlación y estimación de crecimiento.

5.2.1. Correlación entre variables

La tabla **5-3** representan la estimación de la correlación lineal de Pearson entre entre las variables que representan la economía y las hectáreas cultivadas de coca en Colombia. Entre mas fuerte sea la tonalidad de azul significa que mas fuerte es la correlación positiva entre estas 2 variables, entre mas fuerte sea la tonalidad de rojo significa que mas fuerte es la correlación negativa y finalmente cuando toma un tono transparente se asume que su relación es nula.

Tabla 5-3.: Tabla de correlaciones

	HC	PIB	Inflacion	Consumo	C. Salario	Pre. Dolar	Desempleo
HC	1	-0,55913	-0,58977	-0,48629	-0,53596	0,7764	0,42501
PIB	-0,55913	1	0,1689	0,94728	0,06883	-0,36021	-0,54125
Inflacion	-0,58977	0,1689	1	0,04947	0,96852	-0,87525	-0,08722
Consumo	-0,48629	0,94728	0,04947	1	-0,05331	-0,23166	-0,66683
C. Salario	-0,53596	0,06883	0,96852	-0,05331	1	-0,86671	-0,00375
Pre. Dolar	0,7764	-0,36021	-0,87525	-0,23166	-0,86671	1	0,12145
Desempleo	0,42501	-0,54125	-0,08722	-0,66683	-0,00375	0,12145	1

Según los datos registrados en la tabla (**5-3**) que representan la correlación lineal entre las variables se determino el grado de relación que existe entre las hectáreas cultivadas de coca en Colombia con su desempeño económico. Hecho esto se pudo considerar que la relación entre las hectáreas cultivadas y el crecimiento del PIB, la inflación, el consumo y el crecimiento del salario mínimo es **inversa**, esto debido a que la estimación del indicador es negativa además de que se encuentra entre -0.45 y -0.59 por lo cual no podemos asumir que su correlación es débil. Dándole una interpretación tenemos que, cuando las hectáreas cultivadas aumenten, estas variables económicas disminuyen y viceversa.

En el caso de la variable tasa de desempleo se determino que tienen una correlación positiva con las hectáreas cultivadas pero según su estimación no podeos definirla fuerte. A diferencia del caso anterior se observo que la variable precio del dolar se determino que una estimación de la correlación de 0.776 aproximadamente, por lo cual se asume que no es una correlación considerablemente fuerte además de que es la variable que tiene mayor relación con las hectáreas cultivadas.

5.2.2. Auto-correlación de las hectáreas cultivadas

En la figura (**5-7**) se observa el comportamiento del ACF y el PACF de las hectáreas cultivadas, donde se evidencia una alternancia entre valores positivos y negativos en el ACF

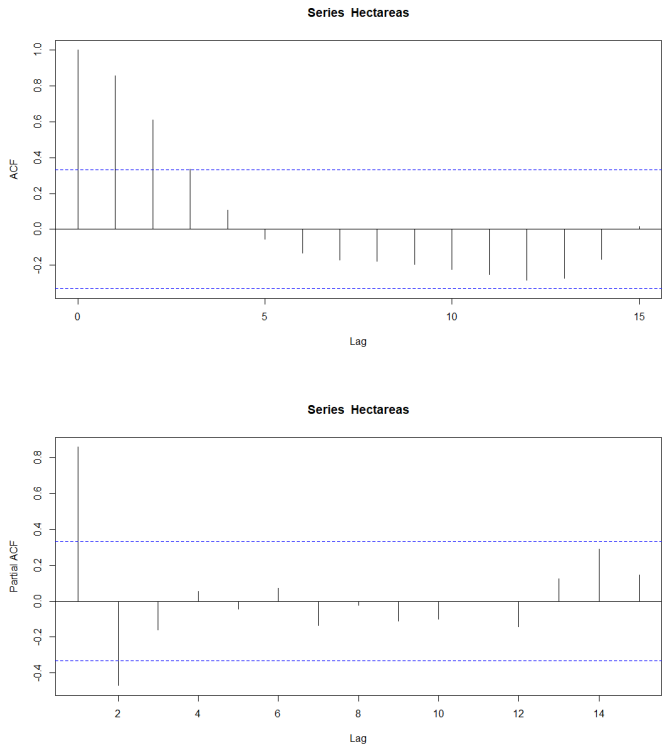


Figura 5-7.: Auto-correlación y Auto-correlación parcial de las hectáreas cultivadas

y también que a partir de 2 rezagos el PACF deja de ser significativo. Esto sugiere que esta serie no es estacionaria y demuestre rastros una serie de estacional, además de esto, también tenemos esta serie tiene una correlación significativa con sigo misma hasta 2 años atrás.

5.2.3. Estimador de crecimiento.

Con los resultados de las correlaciones y la auto-correlación en mente se selecciono la variable que tiene una relación mas fuerte con las hectáreas cultivadas es la tasa de cambio de precio del dolar (Pre.Dolar) y se estimo el modelo:

$$HC_t^* = \beta_1 Pre.Dolar_t^* + \beta_2 HC_{t-1}^* + u_t^* \tag{5-1}$$

La estructura de este modelo nos permite estimar directamente en función de la tasa de cambio del precio del dolar a pesos cuanto se espera que crezcan los cultivos de coca en Colombia en referencia con el total del año anterior si no son intervenidos.
Luego de validar los supuestos que debe cumplir un modelo de regresión lineal (ver anexo A), se realizo la la estimación de los parámetros e indicadores de variabilidad del modelo de regresión, el cual ya se le aplico el ajuste debido a la auto-correlación en los residuos los

```
Call:
prais_winsten(formula = y ~ Pre.Dolar + ly - 1, data = datas,
    index = "time")

Residuals:
   Min     1Q Median     3Q    Max
-28780 -12700   4732  15202  68226

AR(1) coefficient rho after 10 iterations: 0.653

Coefficients:
          Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
Pre.Dolar  16.9974     6.9955   2.430 0.020899 *
ly          0.6091     0.1453   4.193 0.000203 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 15960 on 32 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.8419,    Adjusted R-squared:  0.832
F-statistic: 85.17 on 2 and 32 DF,  p-value: 1.531e-13

Durbin-Watson statistic (original): 0.9104
Durbin-Watson statistic (transformed): 1.755
```

Figura 5-8.: Estimación de los parámetros del modelo de regresión lineal ajustado

cuales podemos observar en la figura **5-8** y se determino el siguiente comportamiento:

- Las pruebas formales para la estimaciones para el parámetro β_1 indica que esta variable es muy significativa en el modelo a un nivel de confianza superior al 95 %.
- En el caso del β_0 se determino que su aporte para el modelo no es significativa por esta razón no se incluye en el modelo.
- Con este modelo se puede representar cerca del 84 % de la variabilidad de las hectáreas cultivadas de coca en Colombia (HC) en función de la tasa de cambio del dolar a peso colombiano (Pre.Dolar) y el valor de las hectáreas el a˜no inmediatamente anterior (ly).

Tabla 5-4.: : Intervalo del 95 % confianza para β_1

L_i	β_1	L_s
2,76	16,99	31,23

Luego de revisar que el modelo cumpliera con los supuestos se determino que una buena estimación para el parámetro 1 que representa el cambio proporcional directo entre el precio del dolar y el numero de heteras cultivadas en Colombia esta dado en el intervalo 2.8 y 31.2, con un valor esperado de 17. (ver tabla **5-4**)

5.3. Modelo GAS

Se plantearon diferentes modelos y de acuerdo con las característica necesitarías y con los objetivos establecidos se determino un modelo GAS donde se incluyeron todas las variables del estudio y se agrego una variable control que depende del la capacidad de producción en el año (PIB) ya que por efectos de la pandemia en desarrollo económico del país en los años 2020 y 2021 decayó de forma significativa a tal punto que se consideran como valores atípicos figura (**5-6**).

Teniendo en cuenta la especificación de los parámetros de localización y escala, donde el parámetro de localización se considera variantes en el tiempo y el parámetro de escala se considera constante, además de que $(m = 4, p = 0, q = 0)$ se determino que la estimación del modelo para estimar el valor esperado de los cultivos de coca en Colombia consiste en:

$$\mu_{\mathbf{t+1}} = \omega_{t+1} + \beta_1\, PIB.C_{\,(t-1)} + \beta_2\, Consumo.C_{\,(t-1)} + \beta_3\, T.Desempleo_{(t-1)} + \beta_4 Contr.PIB_{(t-1)} \tag{5-2}$$

$$w_{t+1} = w_t + \eta_t\,;\ \ \eta_t \sim N(0,\ \kappa) \tag{5-3}$$

Luego de validar los supuestos que debe cumplir el modelo (ver anexo B), los cuales se verifican por medio de los residuos se realizaron las inferencias sobre la estimación de los parámetros del modelo, la cual podemos observar en la figura (**5-9**) y con los cuales se realizo la estimación de el valor esperado de las hectáreas cultivadas de coca en Colombia para los años 2021, 2022 y 2023, ver tabla (**5-5**)

Parameter type	Value	Asymp.SE	p-value	-1.96 SE	+1.96 SE
Location: RW κ	1.4816***	0.1384	0.0000	1.2104	1.7528
Location: β_PIB C_lag-1	-0.1994*	0.0969	0.0472	-0.3894	-0.0094
Location: β_Consumo C_lag-1	0.2508*	0.1178	0.0403	0.0200	0.4817
Location: β_Tasa de desempleo_lag..	0.2026*	0.0800	0.0160	0.0458	0.3595
Location: β_PIB C3_lag-1	-0.4442*	0.1744	0.0154	-0.7861	-0.1024
Log scale: constant	-1.3019***	0.1195	0.0000	-1.5361	-1.0676

* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

Figura 5-9.: Estimación de los parámetros del modelo GAS

Se estimo un modelo que no cuenta con una componente auto regresiva lo que indica que se estimo el modelo en función del level y las variables explicativas del modelo. En el caso de las variables explicativas dado que la estimación del β que representa el PIB tiene signo negativo quiere decir que se espera que el año próximo en el que el país tenga un decrecimiento en la economía aumenten los cultivos de coca, figura (**5-9**).

Como se observa en la figura (**5-10**), gran parte de la estimación de la variabilidad de la serie de tiempo de el numero de hectáreas cultivadas esta representada por el **nivel**.Esta componente hace referencia a la componente que representa el valor promedio o base alrededor del cual fluctúan los datos a lo largo del tiempo, aun así, el aporte de las variables explicativas en el modelo sirve como un ajuste que permite realizar una mejor estimación en cada uno de los años de las hectáreas cultivadas.

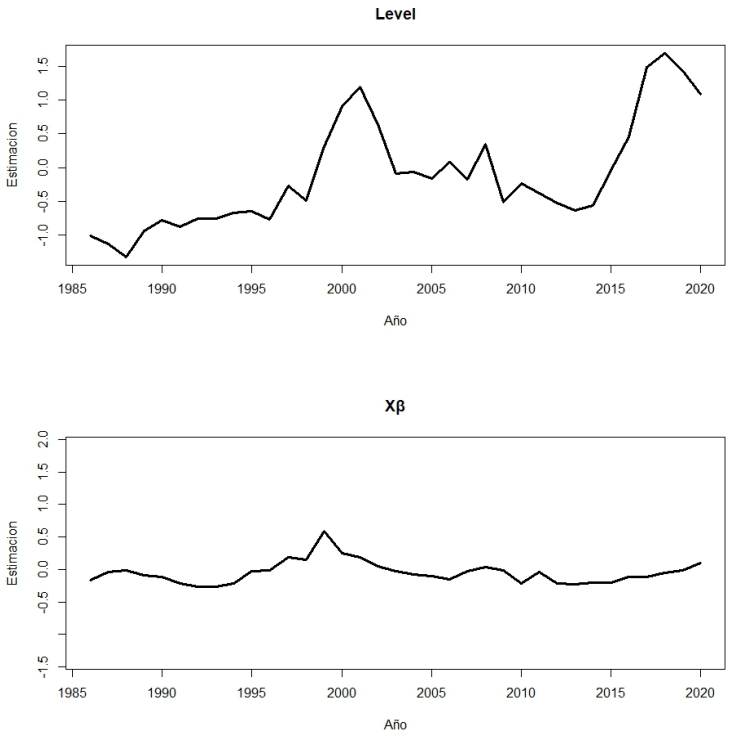


Figura 5-10.: Aporte a la estimación de los parámetros del modelo

Se realizo una compararon las estimaciones con los valores reales en cada uno de los años donde se observo un buen comportamiento en las estimaciones de la media en cada uno de los años y que el modelo tiene un buen comportamiento y estima de forma precisa la media de las hectáreas cultivadas de coca en Colombia, figura(**5-11**).

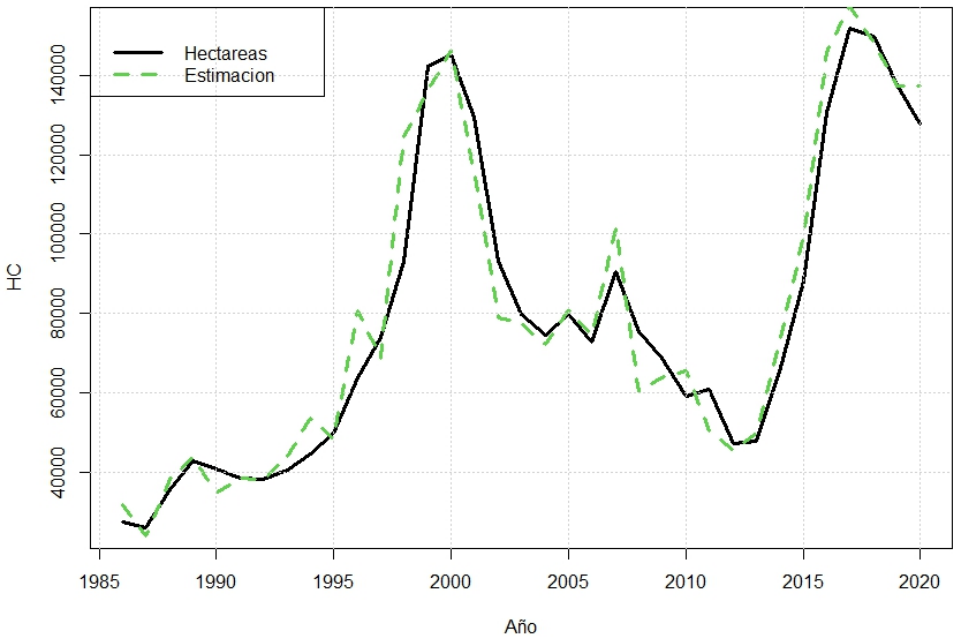


Figura 5-11.: Estimación de la media de las hectáreas cultivadas con del modelo GAS

Residuos

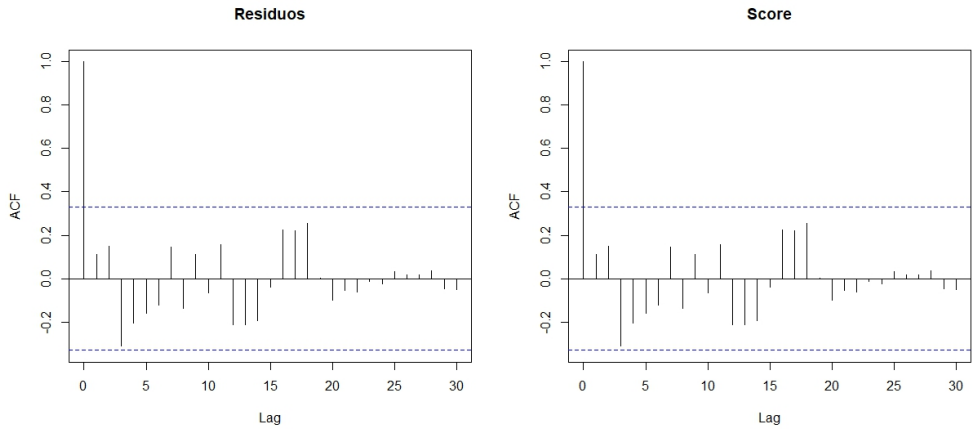


Figura 5-12.: ACF de los residuos y el Score del modelo

En cuanto a los residuos, se evidencia en el ACF en la figura (**5-12**) que no se tiene un decaimiento lento si no por el contrario, se puede decir que estadísticamente son cero, de igual manera se sigue un comportamiento parecido con el Score, ver figura (**5-12**).

5.3.1. Estimación

Utilizando el modelo GAS determinado anteriormente se estimo la media de las hectáreas cultivadas entre los años 2020 y 2023 de forma independiente para año y se les estimo un intervalo de confianza a cada uno basado en la distribución de los residuos del modelo (3-13), ver tabla (**5-5**).

Año (t)	$Li_{2,5\,\%}$	μ_t	$Ls_{97,5\,\%}$
2020	113479	137431	161384
2021	151405	175358	199310
2022	195730	219683	243635
2023	194231	218183	242136

Tabla 5-5.: Estimación de las hectáreas con un intervalo de confianza del 95 %

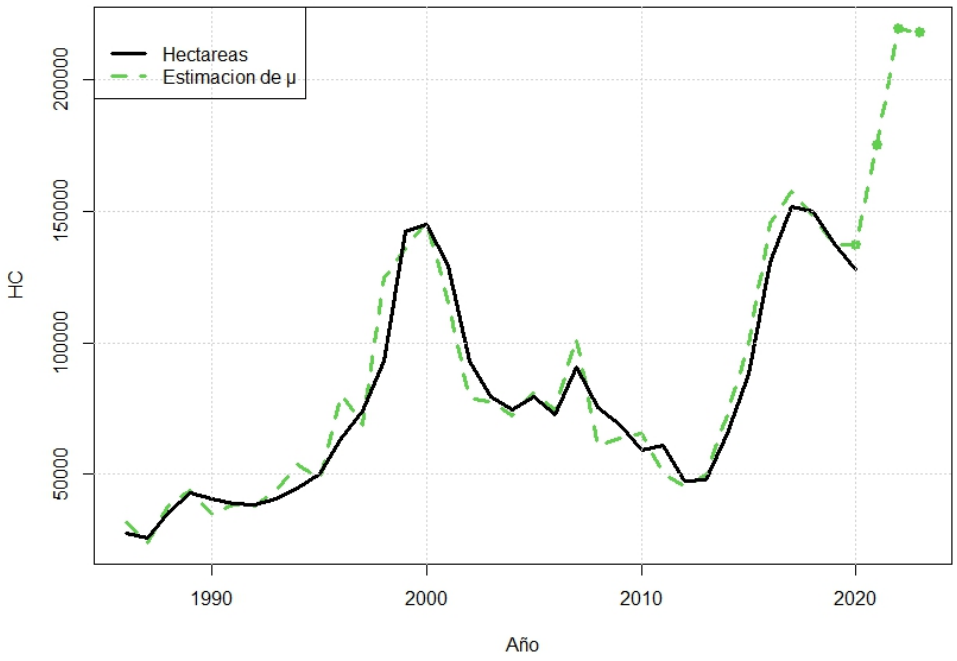


Figura 5-13.: Representación gráfica del valor esperado de la media de hectareas cultivadas de coca en Colombia

En la figura (**5-13**) se puede observar la comparación entre el valor real de las hectáreas cultivadas a través de los años y su estimación y para los años 2021, 2022 y 2023 que son

los años que se desea estimar su comportamiento ya que era desconocido, tenemos que, se espera un gran crecimiento para el 2021 y en especial el 2022 que tocaría un máximo nunca antes visto en las hectáreas cultivadas de coca en Colombia y finalizando con un 2023 donde se espera un leve decrecimiento.

Debido a que se tiene registro del numero real de hectáreas cultivadas de coca entre los años 2021 y 2022 las cuales no fueron incluidas en el modelo con el fin de contrastar las estimaciones y diagnosticar que tan efectivo es el modelo planteado para estimar el numero de hectáreas cultivadas.

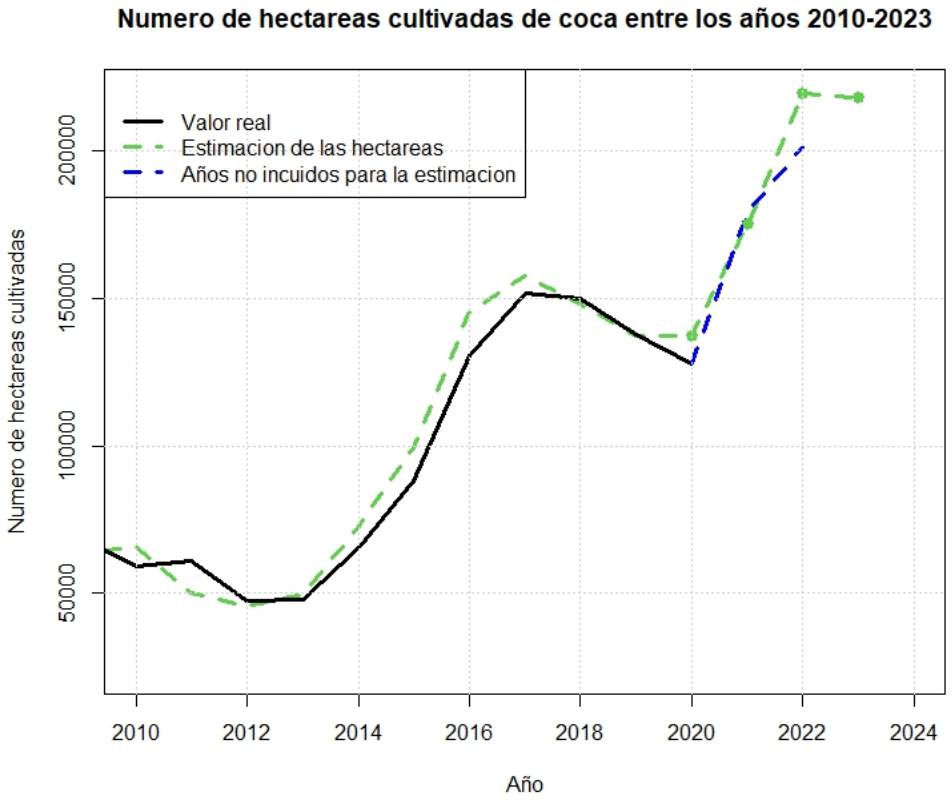


Figura 5-14.: Contraste entre las estimación del Numero de hectáreas cultivadas de coca y su valor real entre los años 2010-2023

Se determino que el modelo además de estimar bien el comportamiento ya registrado de las hectáreas cultivadas en los años con los cuales se estimo el modelo también proporciona estimaciones muy precisas para los años que se seleccionaron para realizar las pruebas de validación(ver figura **5-14**).

6. Conclusiones y recomendaciones

6.1. Conclusiones

- Desde el año 1986 hasta el 2020 los cultivos de erithroxylon coca (árbol de coca) en Colombia han estado sumergidos en una secuencia de crecimientos y decrecimiento progresiva, por periodos de tiempo aproximados de 4 a 5 años, lo que sugiere que el proceso de cambio lento y que los organismos de control tardan en implementar estrategias para detener y reducir el crecimiento de estos cultivos en las diferentes zonas del país.

- Según lo observado en este periodo de tiempo (1986-2020), Colombia en general ha tenido un desarrollo económico con un crecimiento constante que le ha permitido destacar y mejorar las condiciones de vida de sus habitantes, no obstante también sufrido de 2 situaciones donde el desarrollo económico ha entrado en crisis y ha decrecido considerablemente, entre los años 1997 y 2000 Colombina sufrió una crisis económica producida por la devaluación del peso colombiano frente al dolar US debido a la débil política macroeconómica que presentaba el país. Esta crisis fue similar a la producida por el Covid-19 y la pandemia en el año 2020, esto habla de la magnitud y los estragos que produjo este virus en un periodo de tiempo mucho mas corto.

  Además de esto, también se tiene que ambas crisis económicas han sido acompañadas por un crecimiento abrupto en la cantidad de hectáreas de erithroxylon coca en Colombia, lo que da indicios de que cuando el país cae en una crisis económica o no logra mantiene su crecimiento regular, se recurre a incrementar la producción y cultivo de erithroxylon coca (árbol de coca) para solventar sus necesidades económicas por lo menos hasta que se estabiliza de nuevo la economía nacional.

- Se determino una considerable relación entre los cultivos de los cultivos de erithroxylon coca (árbol de coca) y el desarrollo económico del país, en especial con la Tasa de cambio de dolar US a peso (Pre. Dolar) ya que a medida que se valoriza el precio el Dolar US con respecto al peso colombiano, mayor es la capacidad de producción y cultivos de arboles de coca en el país. Se estima que por cada 100 pesos que se valorice el Dolar US con respecto al peso colombiano, el incremento en las hectáreas cultivadas de erithroxylon coca en el país se encuentre entre [**276, 3122**], con un valor promedio de **1699** hectáreas en el caso de que la producción de estas no sea intervenida.

- Dadas las condiciones del desarrollo económico en Colombia entre los años 2020 al 2023, progresivamente se espera un gran crecimiento en las hectáreas cultivadas de erithroxylon coca iniciando con 130.209 hectáreas en cultivadas en el 2020, pasando al 2021 con un valor esperado de 176.689 hectáreas cultivadas, continuando con el crecimiento, en el 2022 se espera un total de 221.661 y finalmente para el 2023 se espera una dosificación del crecimiento y una pequeña reducción en el total de hectáreas cultivadas erithroxylon coca en el país.
-

6.2. Recomendaciones

Los objetivos de la investigación fueron alcanzados satisfactoriamente aun así como recomendación para una futura investigación sobre el desarrollo de los cultivos de coca en Colombia u otros países en relación con el comportamiento económico de si mismo es utilizar una metodología que proponga un método de estimación donde se determine una relación directa entre las hectáreas cultivadas y las variables que representan la economía del país, ya que los modelos GAS proporcionan estimaciones muy precisas de la variable respuesta, no obstante la interpretación de sus parámetros para $X\beta$ no es muy clara. Esto quiere decir que no proporciona una estimación directa de el aporte que se debe a la situación económica del país en la variable respuesta que son las hectáreas cultivadas de coca.

A. Anexo: Comprobación de los supuestos del modelo de regresión lineal

Este anexo va dirigido a verificar el comportamiento de los residuos del modelo finalmente utilizado para estimar el parámetro de crecimiento, del cual se se puede inferir sobre el comportamiento de los residuos y gráficamente se puede ver el cumplimiento de todos los supuestos necesarios para la estimación de un modelo óptimo.

A.1. Pruebas gráficas

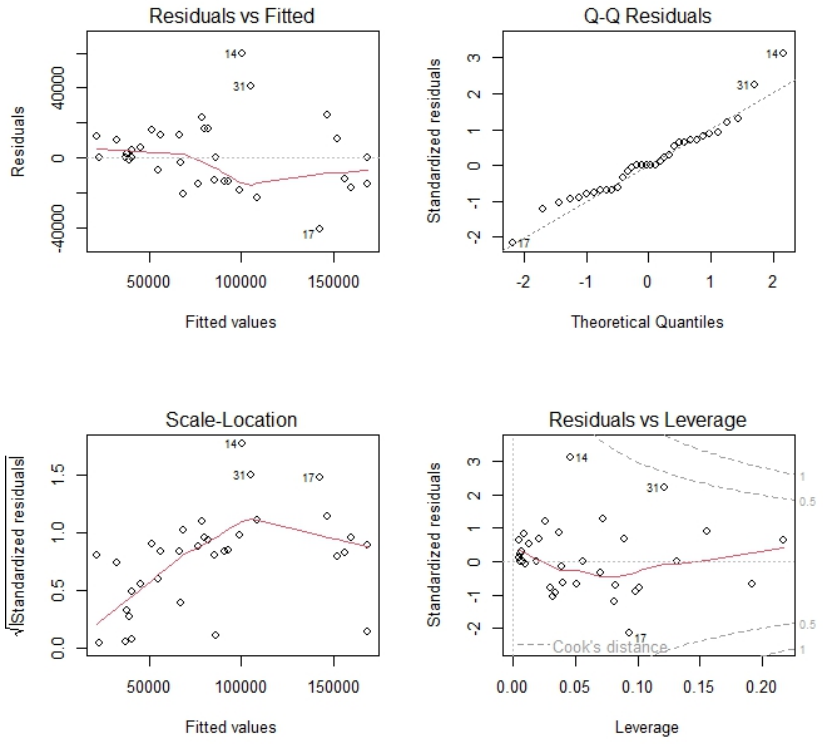


Figura A-1.: Gráfica de los supuestos que deben cumplir los residuos del modelo

Según lo que se observa en la figura (**A-1**) se puede inferir que el modelo si esta cumpliendo con todos los supuestos necesarios para su óptimo funcionamiento, aun así, es pertinente realizar pruebas formales que permitan reforzar estas afirmaciones.

A.2. Pruebas formales

```
        One Sample t-test

data:  modelo_pw$residuals
t = 1.369, df = 33, p-value = 0.1802
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -2292.816 11726.202
sample estimates:
mean of x
 4716.693
```

Figura A-2.: Prueba del supuesto de media 0 en los residuos

- Con un valor p superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que indica que la media de los residuos es igual a 0, ver figura (**A-2**)

```
        Shapiro-Wilk normality test

data:  modelo_pw$residuals
W = 0.948, p-value = 0.1069
```

Figura A-3.: Prueba del supuesto normalidad en los residuos

- Con un valor p superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que indica que los residuos provienen de una distribución normal, ver figura (**A-3**)

```
        studentized Breusch-Pagan test

data:  modelo_pw
BP = 0.53899, df = 1, p-value = 0.4629
```

Figura A-4.: Prueba de homogeneidad de varianza en los residuos

- Con un valor p superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que indica que la la varianza de los residuos es constante en cualquier tiempo t, ver figura (**A-4**)

```
Durbin-Watson statistic (original): 0.9104
Durbin-Watson statistic (transformed): 1.755
```

Figura A-5.: Prueba de independencia en los residuos

- Con un valor p superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que indica que la autocorrelacion de los residuos es superior a 0, ver figura (**A-5**)

Conclusión: Se observa que el modelo cumple con todos los supuestos necesarios para su óptimo funcionamiento lo que proporciona una buena interpretación de los resultados sus parámetros

B. Anexo: Comprobación de los supuestos del modelo Generalized Autoregressive Score (GAS)

Este anexo va dirigido a verificar el comportamiento de los residuos del modelo finalmente utilizado para estimar el valor esperado de las Hectáreas cultivadas de coca (HC), del cual se se puede inferir sobre el comportamiento de los residuos y gráficamente se puede ver el cumplimiento de todos los supuestos necesarios para la estimación de un modelo óptimo.

B.1. Pruebas gráficas

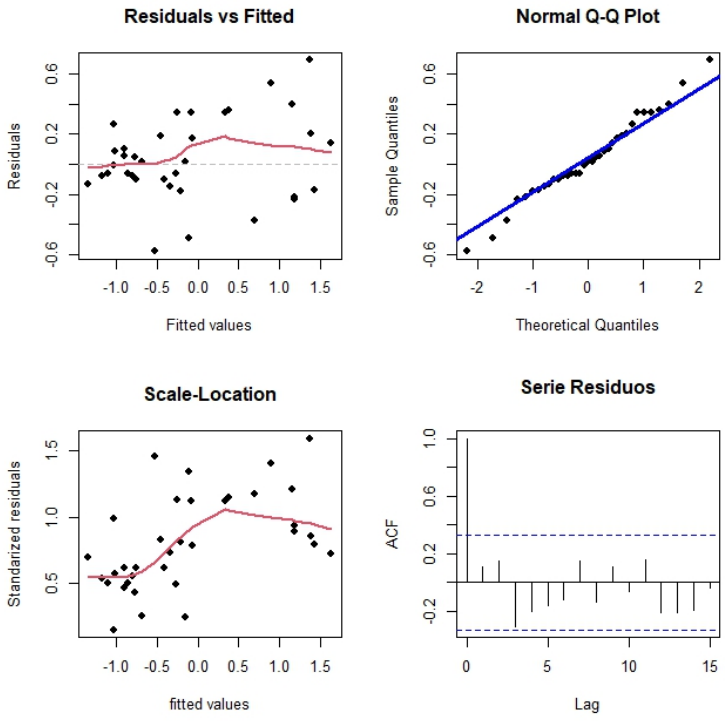


Figura B-1.: Gráfica de los supuestos que deben cumplir los residuos del modelo

Según lo que se observa en la figura (**B-1**) se puede inferir que el modelo si esta cumpliendo con todos los supuestos necesarios para su óptimo funcionamiento, aun así, es pertinente realizar pruebas formales que permitan reforzar estas afirmaciones.

B.2. Pruebas formales

```
        One Sample t-test

data:  residual
t = 0.74477, df = 34, p-value = 0.4615
alternative hypothesis: true mean is not equal to 0
95 percent confidence interval:
 -0.05957924  0.12850881
sample estimates:
 mean of x
0.03446479
```

Figura B-2.: Prueba del supuesto de media 0 en los residuos

- Con un valor p superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que indica que la media de los residuos es igual a 0, ver figura (**B-2**)

```
        Shapiro-Wilk normality test

data:  residual
W = 0.98351, p-value = 0.8657
```

Figura B-3.: Prueba del supuesto normalidad en los residuos

- Con un valor p superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que indica que los residuos provienen de una distribución normal, ver figura (**B-3**)

```
        studentized Breusch-Pagan test

data:  GAS
BP = 1.0202, df = 1, p-value = 0.3125
```

Figura B-4.: Prueba de homogeneidad de varianza en los residuos

- Con un valor p superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que indica que la la varianza de los residuos es constante en cualquier tiempo t, ver figura (**B-4**)

```
        Durbin-Watson test

data:  GAS
DW = 1.7391, p-value = 0.1714
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0
```

Figura B-5.: Prueba de independencia en los residuos

- Con un valor p superior a 0.05, no se rechaza la hipótesis nula que indica que la autocorrelacion de los residuos es superior a 0, ver figura (**B-5**)

Conclusión: Se observa que el modelo cumple con todos los supuestos necesarios para su óptimo funcionamiento lo que proporciona una buena interpretación de los resultados sus parámetros y sus estimaciones.

Bibliografía

Abellán, E. (2016), *Bioestadística: Principios y procedimientos*, Editorial Médica Panamericana.

Análisis del impacto socioeconómico del COVID-19 en Colombia (2021), Technical report, ONU. Available at: `https://colombia.un.org/es/160843-an%C3%A1lisis-de-impacto-socio-econ%C3%B3mico-en-la-crisis-covid-19`.

banco de la republica de Colombia (2022), Definición de la tasa representativa del mercado (trm)., Technical report, Banco de la República de Colombia. Available at: `https://www.banrep.gov.co/es/trm-definicion`.

Caicedo, D. (2012), *Erradicaci on forzosa y presencia de los cultivos iicitos en Colombia 1986-200*, Universidad del Valle.

Casella, G. & Berger, R. L. (2002), *Statistical Inference*, 2nd edn, Duxbury Press.

Colombia: Monitoreo de Cultivos de Coca 2019 (2020), Technical report, UNODC. Available at: `https://www.unodc.org/documents/crop-monitoring/Colombia/Colombia_Monitoreo_Cultivos_Ilicitos_2019.pdf`.

Creal, D., Koopman, S. J. & Lucas, A. (2013), 'Generalized autoregressive score models with applications', *Journal of Applied Econometrics* **28**(5), 777–795.

Economist (2020), *Inflation*.
URL: *https://www.economist.com/economics-a-to-z/inode-21529487*

García, M. C. & Montes, F. (2018), 'Crecimiento económico y desigualdad en colombia: Un análisis de largo plazo.', *Revista de Economía Institucional* .

Ibáñez, A. M. & Ocampo, J. A. (2000), *La crisis financiera colombiana de 1998-1999: una mirada desde la economía política*, Siglo XXI Editores.

Krugman, P. & Wells, R. (2015), *Economics*, 4th ed. edn, Worth Publishers.

Lütkepohl, H. (2005), *New Introduction to Multiple Time Series Analysis*, Springer Berlin, Heidelberg.

Mejía, D. & Restrepo, P. (2016), 'The war on illegal drug production and trafficking: An economic evaluation of plan colombia.', *Handbook of Operations Research for Homeland Security* .

Montgomery, D. C., Peck, E. A. & Vining, G. G. (2012), *Introduction to Linear Regression Analysis*, 5th ed. edn, Wiley.

Mood, A. M., Graybill, F. A. & C., C. B. D. (1974), *Introducción a la Teoría de la Estadística*, 3ra. ed edn, McGraw-Hill.

Pasquali, M. (2023), Colombia, perú y bolivia produjeron más de 2.000 toneladas de cocaína en 2021, Technical report, Statista. Available at: `https://es.statista.com/grafico/20081/los-paises-que-producen-la-mayor-cantidad-de-cocaina/`.

Presidencia de la republica (1947), 'Decreto nuemro 896 de 1947, articulo 3', `https://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1186044#:~:text=Art%C3%ADculo%203%C2%BA%20De%20acuerdo%20con,las%20hojas%20de%20estas%20plantas.`

Shumway, R. H. & Stoffer, D. S. (2017), *Time Series Analysis and Its Applications: With R Examples*, Springer.

Smith, J. (2020), *Macroeconomics: Principles and Policy*, Pearson Education.

Stock, J. & Watson, M. (2015), *Introduction to Econometrics*.

Sánchez, F. (2014), 'La economía colombiana en el siglo xxi: Un balance', *Anuario Colombiano de Historia Social y Económica* .