

Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador
Departamento de Desarrollo, Ambiente y Territorio
Convocatoria 2015-2017

Tesis para obtener el título de maestría de Investigación en Economía del Desarrollo

Hacia una Legislación Sísmica Preventiva en Ecuador: Efecto Económico de una Política de
Revisión Obligatoria del Diseño Sísmico de Edificaciones en Quito

Andrés Sebastián Salazar Mármol

Asesor: Juan Ponce

Lectores: Mercedes Onofa y John Cajas

Quito, julio 2019

Dedicatoria

Al amor de mi vida, Estefanía Montesdeoca Castillo.

Gracias por ser magia.

Epígrafe

“Fue así como en estas antiguas ciudades, el ser humano, descubrió su don para el arte, la literatura, el comercio y las leyes, y para muchas otras cosas nuevas. Llamamos a esto civilización y tendemos a pensar que es algo que se refleja en los restos físicos de los templos, los castillos y los palacios que vemos a nuestro alrededor. Pero fue mucho más que eso. Fue un gran experimento de convivencia, que engendró experiencias psicológicas completamente nuevas, un experimento que aún hoy continúa entusiasmando a muchos más de nosotros [...] Las ciudades han sido el motor de las ideas, del pensamiento, de la innovación, en casi todos los sentidos que han hecho avanzar la vida”

Peter Watson

Tabla de contenidos

Resumen	IX
Agradecimientos	X
Introducción	1
Capítulo 1	7
Elementos de una legislación sísmica preventiva	7
Control de calidad de construcciones: la parte clave del proceso no está siendo.....	10
controlada	10
Descripción de la intervención: Política obligatoria de revisión de diseños sísmicos en....	19
Quito	19
Capítulo 2	22
Método de Control Sintético	22
Datos.....	26
Resultados.....	29
Inferencia.....	30
Discusión	31
Conclusiones y recomendaciones	34
Anexos	36
Anexo 1.....	36
Anexo 2.....	50
Lista de referencias	59

Ilustraciones

Figuras

Figura 1. Amenaza sísmica en América Latina.....	1
Figura 2. Permisos de construcción en el cantón Quito	21
Figura 3. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Quito vs synthetic Quito.....	29
Figura 4. Préstamos hipotecarios BIESS.....	32
Figura 5. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Guayaquil vs synthetic Guayaquil.....	36
Figura 6. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Cuenca vs synthetic Cuenca	37
Figura 7. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Santo Domingo vs synthetic Santo Domingo	38
Figura 8. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Ambato vs synthetic Ambato	39
Figura 9. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Portoviejo vs synthetic Portoviejo.....	40
Figura 10. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Machala vs synthetic Machala.....	41
Figura 11. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Durán vs synthetic Durán	42
Figura 12. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Manta vs synthetic Manta.....	43
Figura 13. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Riobamba vs synthetic Riobamba	44
Figura 14. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Loja vs synthetic Loja (sin módulo nested).....	45
Figura 15. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Esmeraldas vs synthetic Esmeraldas	46
Figura 16. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Ibarra vs synthetic Ibarra	47

Figura 17. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Quevedo vs synthetic Quevedo	48
Figura 18. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Latacunga vs synthetic Latacunga.....	49
Figura 19. Producción en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	50
Figura 20. Producción per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	51
Figura 21. Parcial del VAB en actividades profesionales e inmobiliarias en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo.....	51
Figura 22. Parcial del VAB en actividades profesionales e inmobiliarias, valores per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo.....	52
Figura 23. Permisos de construcción en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	52
Figura 24. Permisos de construcción per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	53
Figura 25. Número de viviendas por edificación en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	53
Figura 26. Número de viviendas per cápita por edificación en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo.....	54
Figura 27. Número de dormitorios calculado en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	54
Figura 28. Número de dormitorios calculado per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	55
Figura 29. Cantidad total de nacidos vivos en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	55
Figura 30. Cantidad total per cápita de nacidos vivos en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	56
Figura 31. Cantidad de matrimonios en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	56
Figura 32. Cantidad per cápita de matrimonios en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	57
Figura 33. Parcial del VAB en construcción en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo	57

Figura 34. Parcial del VAB en construcción, valor per cápita en los cantones Quito,.....	58
Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo.....	58

Tablas

Tabla 1. Afectaciones principales terremoto Ecuador 2016	2
Tabla 2. Impacto macroeconómico nacional terremoto Ecuador 2016.....	3
Tabla 3. Costos de la reconstrucción terremoto Ecuador 2016.....	3
Tabla 4. Síntesis de la filosofía de diseño sismo resistente.....	12
Tabla 5. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura	17
Tabla 6. Cantones del Ecuador con mayor población año 2013	26
Tabla 7. Intervalos de tiempo de las fuentes de datos utilizadas.....	27
Tabla 8. Catalogación de variables utilizadas en el presente estudio.....	27
Tabla 9. Pesos de las unidades de control para la conformación del synthetic Quito.....	30
Tabla 10. Valores de unidad tratada Quito vs grupo sintético Quito	30
Tabla 11. Cuantificación de impacto y p-value estandarizado.....	31
Tabla 12– Valores de unidad tratada Guayaquil vs grupo sintético Guayaquil	36
Tabla 13– Valores de unidad tratada Cuenca vs grupo sintético Cuenca	37
Tabla 14– Valores de unidad tratada Santo Domingo vs grupo sintético Santo Domingo	38
Tabla 15– Valores de unidad tratada Ambato vs grupo sintético Ambato.....	39
Tabla 16– Valores de unidad tratada Portoviejo vs grupo sintético Portoviejo	40
Tabla 17– Valores de unidad tratada Machala vs grupo sintético Machala.....	41
Tabla 18– Valores de unidad tratada Durán vs grupo sintético Durán	42
Tabla 19– Valores de unidad tratada Manta vs grupo sintético Manta	43
Tabla 20– Valores de unidad tratada Riobamba vs grupo sintético Riobamba	44
Tabla 21– Valores de unidad tratada Loja vs grupo sintético Loja (sin módulo nested).....	45
Tabla 22– Valores de unidad tratada Esmeraldas vs grupo sintético Esmeraldas	46
Tabla 23– Valores de unidad tratada Ibarra vs grupo sintético Ibarra	47
Tabla 24– Valores de unidad tratada Quevedo vs grupo sintético Quevedo	48
Tabla 25– Valores de unidad tratada Latacunga vs grupo sintético Latacunga	49

Declaración de cesión de derechos de publicación de la tesis

Yo, Andrés Sebastián Salazar Mármol, autor de la tesis titulada “Hacia una Legislación Sísmica Preventiva en Ecuador: Efecto Económico de una Política de Revisión Obligatoria del Diseño Sísmico de Edificaciones en Quito” declaro que la obra es de mi exclusiva autoría, que la he elaborado para obtener el título de maestría de Investigación en Economía del Desarrollo, concedido por la Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales, FLACSO Ecuador.

Cedo a la FLACSO Ecuador los derechos exclusivos de reproducción, comunicación pública, distribución y divulgación, bajo la licencia Creative Commons 3.0 Ecuador (CC BY-NC-ND 3.0 EC), para que esta universidad la publique en su repositorio institucional, siempre y cuando el objetivo no sea obtener un beneficio económico.

Quito, julio de 2019



Andrés Sebastián Salazar Mármol

Resumen

En el sector de la construcción en Ecuador, existen normativas técnicas que regulan los parámetros de diseño sísmico de las edificaciones, pero es insuficiente el control que se realiza para verificar el efectivo cumplimiento de las mismas.

A finales del año 2013 en el cantón Quito, se implementó una política de revisión obligatoria al diseño sismo resistente de edificaciones nuevas, esta medida representó un aporte para la disminución de la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura de la zona, pero al mismo tiempo, afectó al sector económico de la construcción, al demorar trámites e incrementar el costo de las edificaciones, ya que por lo general, el hecho de construir una edificación más segura implica una mayor inversión en su costo de construcción.

En este contexto, se torna fundamental abordar el debate técnico-económico, de cómo las políticas que incrementan la calidad sismo resistente de edificaciones, se conectan con la realidad del sector de la construcción. Es pertinente sentar un precedente que brinde más elementos para formular cada vez mejores políticas públicas preventivas en el país.

Es así que, en el presente estudio, se analizó el impacto económico en el sector de la construcción ocasionado por la política mencionada, conformando un grupo de control sintético a partir de datos de infraestructura de los quince cantones más poblados del país. Los resultados evidenciaron un impacto estadísticamente significativo en los años 2015 y 2016, con un intervalo de confianza del 90%. Se concluye que la política aplicada logró mejorar la calidad sismo resistente de las construcciones del cantón Quito, al mismo tiempo que ocasionó un efecto de disminución en el valor agregado bruto per cápita del sector de la construcción.

Agradecimientos

Al Dr. Juan Ponce por brindarme su imprescindible guía y total apoyo en el desarrollo de este estudio. A la Economista Lizeth Yanchapaxi por brindarme su indispensable soporte técnico.

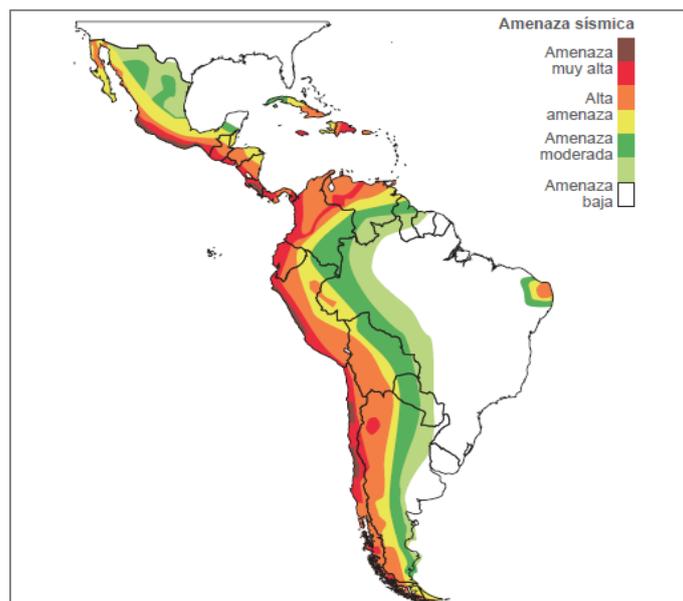
A mi familia por enseñarme tanto cada día, por todo su amor y por ser la fuente de inspiración de mis ideas. A todos mis amigos por su apoyo infinito e incondicional. A Julio Pulpo.

Introducción

Los terremotos pueden cambiar el rumbo de un país de un día para otro, ocasionar la muerte de miles de personas, devastar su infraestructura y dar golpes funestos a su economía (Kalantari 2012). Sin lugar a duda, todos los países que se encuentran en zonas de alto riesgo sísmico necesitan contar con políticas de vivienda y construcción en general, que minimicen la vulnerabilidad sísmica de su infraestructura, entendiéndose este concepto como el daño esperado en las edificaciones de un país, ante la amenaza de un terremoto (Cardona et al. 2008). Lamentablemente, en algunas naciones es habitual que no se invierta lo suficiente en políticas de prevención, y se concentren todos los esfuerzos y recursos en el momento en que el desastre ya ha ocurrido.

Este es el caso de Ecuador, ubicado en el denominado cinturón de fuego del pacífico, zona catalogada como una de las que representan mayor peligro sísmico a nivel mundial, en la figura 1 se muestra la posición geográfica del Ecuador, la cual se encuentra en la categoría de amenaza sísmica muy alta. En el año 2016 el país sufrió un terremoto de magnitud de 7.8 Mw, el más destructivo de las últimas décadas. El terremoto encontró un país altamente vulnerable en sus construcciones y poco preparado en cuanto a políticas de prevención, ocasionando pérdidas humanas y materiales que golpearon toda la economía en su conjunto.

Figura 1. Amenaza sísmica en América Latina



Fuente: CAF 2014. Revisión de la normativa sísmica en América Latina.

El terremoto del año 2016 en Ecuador, afectó principalmente las provincias de Manabí y Esmeraldas, dejando a su paso 663 personas fallecidas. Se requirió que instituciones públicas, privadas, organizaciones no gubernamentales y de voluntariado, realicen un despliegue inmediato de brigadas de rescate, brigadas médicas, tanqueros de agua, kits de alimentación e implementos básicos, entre otras necesidades de carácter emergente. Para tener una idea general del impacto sistémico, la tabla 1 indica las principales afectaciones en población, vivienda, servicios e infraestructura. La tabla 2 muestra los principales indicadores macroeconómicos que se vieron afectados a nivel nacional. Finalmente, la tabla 3 brinda una perspectiva general de los costos de reconstrucción, estimando la afectación ocasionada por el terremoto en más de tres mil millones de dólares. (INEC 2017).

Tabla 1. Afectaciones principales terremoto Ecuador 2016

Afectaciones principales en población	
663	Fallecidos
4859	heridos y otras afectaciones
12	Desaparecidos
80000	Desplazados
Afectaciones principales en vivienda y edificios públicos	
13962	Urbano
15710	Rural
Afectaciones principales en servicios	
875	escuelas afectadas
120000	niños con limitación de acceso educativo
51	establecimientos de salud
593000	personas con limitación de acceso a salud
Afectaciones principales en infraestructura	
83	Km de vías
1	Puerto
1	Aeropuerto

Fuente: INEC 2017. Memorias reconstruyendo las cifras luego del sismo

Tabla 2. Impacto macroeconómico nacional terremoto Ecuador 2016

Variación del PIB nacional	
-0,7 pp	Además una pérdida del 0,26% del stock de capital
Empleo Perdido	
21823	Puestos formales e informales perdidos
Disminución de exportaciones sector camaronero	
35 MMUSD	Exclusivamente en el sector camaronero en 2016
Importaciones Adicionales	
175,3 MMUSD	En 2016 para actividades de recuperación

Fuente: INEC 2017. Memorias reconstruyendo las cifras luego del sismo.

Tabla 3. Costos de la reconstrucción terremoto Ecuador 2016

Sectores	Costos de la reconstrucción		Detalle sector
Social	1369 MMUSD	41%	Educación; Patrimonio; Vivienda; Salud.
Productivo	1032 MMUSD	31%	Agricultura, silvicultura, caza; Manufactura; Servicios turísticos; Comercio.
Infraestructura	862 MMUSD	26%	Infraestructura de vialidad; Electricidad; Agua y saneamiento; Telecomunicaciones.
Otros	81 MMUSD	2%	Seguridad y atención a emergencia; Medio ambiente.

Fuente: INEC 2017. Memorias reconstruyendo las cifras luego del sismo

Otro ejemplo de los desastrosos efectos que pueden ser ocasionados por los terremotos en la economía de países altamente vulnerables, es el caso del evento sísmico sucedido en Haití en el año 2010, suceso del que aún no ha logrado recuperarse. Este terremoto debido a sus efectos, ha sido catalogado como una de las catástrofes más graves de la historia, donde las pérdidas humanas fueron alrededor de 200000 personas y se generó 1.5 millones de personas desplazadas, mientras que los daños materiales se cuantifican en un valor que superó su Producto Interno Bruto (Cavaletto 2012).

Las estadísticas indicadas anteriormente, permiten tener una idea general bastante clara de las graves consecuencias que sufre un territorio ante la ocurrencia de un terremoto. Se puede

apreciar que son determinantes las afectaciones a los sistemas de vivienda e infraestructura, ya que pueden generar una especie de círculos viciosos de necesidades urgentes que dificultan, y en ciertos casos estancan la travesía hacia un camino de recuperación. El caso de Ecuador o el caso de Haití, no son ajenos al de gran cantidad de países que han sufrido terremotos a lo largo de su historia, generando escenarios desastrosos para su economía y contextos que requieren de mucho tiempo para llegar a recuperarse. Si el camino de un país hacia la recuperación es complicado, mucho más lo es el camino hacia el crecimiento económico, para lo cual es muy importante la infraestructura física adecuadamente planificada, la cual constituye uno de los elementos que permiten encaminar mejoras en las condiciones económicas de la sociedad en su conjunto y en las diferentes estrategias que orientan el desarrollo sostenible de un país.

En términos económicos, es pertinente recordar que entre las aristas del desarrollo, la infraestructura representa uno de los principales motores para el crecimiento económico de un país. El Estudio de Esfahani (2003) analiza a nivel macroeconómico datos de infraestructura de más de 70 países ubicados en todas partes del mundo, allí se determina que la inversión en infraestructura es sustancial para la generación de crecimiento económico, y entre sus conclusiones más importantes, destaca que se debería realizar un análisis de la calidad de la infraestructura (Esfahani and Ramírez 2003). Lo cual nos lleva a resaltar, desde un enfoque preventivo, la necesidad de gestionar la infraestructura bajo la aplicación de altos estándares de calidad en el proceso.

De manera complementaria, Duffy-Deno y Eberts (1991), plantean la importancia de analizar los efectos a largo plazo de la inversión en infraestructura como un elemento positivo para el desarrollo económico, ya que aporta a la mejora de la productividad de una región. Un aspecto importante a destacar en su estudio es que se incluye el tema del deterioro de la infraestructura, con respecto a lo cual se menciona que una infraestructura bien conservada puede representar un importante componente para cualquier conjunto de políticas diseñado para fomentar el desarrollo económico regional (Duffy-Deno and Eberts 1991). Es así que, se aborda la necesidad de incluir en el análisis y planteamiento de políticas públicas, indicadores más precisos con respecto a la calidad de las construcciones en el largo plazo.

Martin y Rogers (1995), por su parte, destacan la influencia de la infraestructura en el sector industrial, el comercio internacional y la reubicación de las empresas. De esta manera, se

resalta el impacto positivo que puede brindar la infraestructura a la economía al funcionar como integrador de personas y mercados (Martin et al. 1995). Y es que la infraestructura, estratégicamente planificada y situada, puede presentar efectos de carácter multidimensional, relacionándose incluso con dinámicas de redistribución de recursos. En esta línea, Démurger (2001) plantea que, directamente, las regiones con más infraestructura tienen más facilidad de crecimiento que otras con menos infraestructura. Su estudio analiza varios componentes del crecimiento económico y cómo este se relaciona con la necesidad de cambios estructurales o características sobre la desigualdad entre regiones (Démurger 2001). Esto permite denotar la gran relevancia que tienen los procesos de planificación territorial enmarcados en políticas de prevención ante eventos sísmicos, ya que, al momento de suceder un terremoto, la afectación no solo implica daños físicos, sino también, profundos daños en las estructuras sociales subyacentes.

Otro aspecto importante para resaltar la importancia de una política preventiva ante terremotos, es la problemática planteada por Athavale (2011), quien analiza desde una perspectiva microeconómica el comportamiento de las personas, ante la posibilidad de adquirir seguros ante terremotos. El autor encontró un comportamiento de predominio inelástico entre la demanda de seguros y los ingresos de las personas, lo cual es importante desde una perspectiva de política de vivienda, ya que un terremoto puede perjudicar la valoración de los activos e implicar también una catástrofe sistémica financiera (Athavale and Avila 2011). La valoración de los inmuebles y percepción de la gente, también depende del tiempo que ha pasado desde el último evento sísmico relevante sucedido en un territorio (Naoi, Seko, and Sumita 2009), por lo que se puede decir que la estructura de incentivos que se da en el tema de la prevención ante terremotos, es insuficiente para brindar la seguridad que requieren la gran cantidad de pobladores de los países sísmicos. Es así que, con la orientación de aportar al fortalecimiento de la política sísmica preventiva de edificaciones en Ecuador, el objetivo del presente trabajo es evaluar el impacto económico en el sector de la construcción, de la aplicación de una política de revisión de la calidad sismo resistente de las edificaciones en el cantón Quito.

En la primera sección del presente estudio, se revisarán los elementos que componen una legislación sísmica preventiva, con el fin de determinar el punto neurálgico que hace falta fortalecer en el proceso de control de calidad de construcciones sísmicas en Ecuador, dicho punto es el que permite comprender el contexto e importancia de la política de revisión

aplicada en el cantón Quito para tener un mayor control de la calidad sismo resistente de las construcciones. A continuación se expondrá la metodología econométrica aplicada, sus componentes y consideraciones específicas. Seguidamente se describirá la intervención efectuada, los datos utilizados y los resultados obtenidos, discutiendo la significancia estadística del efecto ocasionado en el cantón Quito. Finalmente, se indicarán las conclusiones del estudio, alineadas con la idea de fortalecer la prevención sísmica en el Ecuador

Capítulo 1

Elementos de una legislación sísmica preventiva

Es oportuno iniciar el presente capítulo, trayendo a colación una pregunta planteada en el documento de revisión de la normativa sísmica en América Latina elaborado por la CAF, en referencia a los desastres ocasionados por los eventos sísmicos: ¿desastres naturales o desastres sociales? (Lafuente, Grases, y Genatios 2014). Y es que la pregunta en sí misma lo dice todo, ya que si un evento natural genera mayor impacto en una zona, mientras que el mismo evento natural (o muy similar) genera menor impacto en otra zona, quiere decir que el desastre se produjo por las condiciones de vulnerabilidad con las que se encontró el evento natural a su paso, es por ello que un desastre natural es intrínsecamente, un desastre social. Los desastres se empiezan a gestar desde que una sociedad presenta abrumantes necesidades y problemas urgentes por resolver. Por ejemplo, las personas que viven en extrema pobreza, son proclives a ubicarse en asentamientos informales en zonas de peligro, y esto claramente obedece a una cuestión de jerarquía de las necesidades humanas básicas, como lo planteó Abraham Maslow (Maslow 1943) hace varias décadas.

La magnitud de los desastres generados por los terremotos depende de cuán vulnerable es una zona ante este tipo de amenazas, y esta vulnerabilidad se vincula de manera directa con la preparación previa y capacidad de respuesta de una sociedad, es por ello que los peores desastres suelen suceder en los países que se encuentran en vías de desarrollo, donde “la vulnerabilidad es un problema estructural y multidimensional” (Lafuente, Grases, y Genatios 2014). Países con grandes falencias en su institucionalidad, con debilidades en los mecanismos de regulación y control, con altos índices de informalidad y pobreza, con procesos de degradación ambiental no controlados, con insuficiencias en la planificación territorial y urbana, con ausencia de políticas adecuadas para la reducción de riesgos de desastres (Lafuente, Grases, y Genatios 2014), naciones con altos índices de corrupción, son algunos de los elementos que hacen que al momento de un terremoto, los esfuerzos y recursos se concentren en la urgencia del desastre, y no en la efectiva prevención o mitigación del mismo.

De acuerdo a la CEPAL (2007), la gestión del riesgo de desastres constituye una importante línea de acción que se relaciona con el desarrollo, la gran cantidad de pérdidas humanas y económicas ocasionadas por los desastres naturales, han despertado la necesidad de que

organismos internacionales promuevan un sustancial cambio de enfoque: “que los países pasen de una actitud centrada en responder a las emergencias, a otra cuyo énfasis sea la prevención para aminorar las consecuencias de tales fenómenos” (CEPAL 2007). A partir de este enfoque, que resalta la importancia de las estrategias de prevención, es posible mencionar los siguientes ejes, como los principales que componen una legislación sísmica preventiva: La zonificación de riesgo sísmico, la constante actualización de las normativas de construcción y el control de calidad de las construcciones.

La zonificación de riesgo sísmico permite conocer las franjas de mayor peligro sísmico de un territorio, junto a la vulnerabilidad de las diferentes zonas. El objetivo es realizar una mejor planificación de ciudades, zonas rurales y urbanas. A esta planificación se alinean todos los proyectos de infraestructura que se piensen desarrollar en un país. En el caso del diseño sismo resistente de estructuras, la microzonificación sísmica es una herramienta técnica muy importante, ya que permite realizar una estimación de las fuerzas sísmicas a considerarse en el desarrollo del diseño de edificaciones.

La actualización de las normativas de construcción, replantea continuamente las reglas de juego en los proyectos de infraestructura, ya que dichas normas establecen las directrices de obligatorio cumplimiento en el diseño de proyectos de construcción. La actualización normativa se realiza con el objetivo de incluir permanentemente los mejores avances tecnológicos en materia de diseño sísmico o diseño sismo resistente de estructuras. En teoría, esto es muy beneficioso para realizar construcciones que sean más seguras, pero es importante tener en cuenta que, por lo general, el hecho de construir una edificación más segura implica una mayor inversión en el costo de construcción. Por lo que hay que preguntarse, cuán accesibles son éstas tecnologías desde la perspectiva económica y cómo las mismas se conectan con la realidad del mercado de la construcción. Surge en este punto una inquietud trascendental: ¿cada qué tiempo y en qué grado deben incrementarse las normativas de construcción para que las nuevas exigencias normativas se den en transiciones suaves y el impacto ocasionado al sector de la construcción no sea tan fuerte?

El control de calidad de las construcciones, se refiere a la inspección de criterios, materiales y especificaciones técnicas utilizadas en la construcción de edificaciones. En Ecuador, el control de calidad está fuertemente orientado a la inspección de las construcciones cuando éstas ya han sido finalizadas. Y éste es un problema, ya que los inspectores revisan que las

edificaciones, una vez construidas, correspondan a lo que se estipuló en los planos de diseño iniciales, pero en casi la totalidad del país nadie revisa a profundidad el contenido de estos planos de diseño iniciales también conocidos como diseño sísmico o diseño sismo resistente de la edificación. Cabe mencionar a manera de aclaración, que el término “sísmico” tiene distintas connotaciones de carácter técnico en las diferentes ramas de la ciencia que lo utilizan, pero en el presente estudio, se adopta esta terminología con el objetivo de que sea comprensible para cualquier lector.

Es así que se llega al punto neurálgico del problema, ya que surge una etapa que no está siendo controlada de manera rigurosa en el Ecuador, y es que la información del diseño sismo resistente de la edificación, no es revisada ni inspeccionada a profundidad por ninguna institución, a excepción del cantón Quito donde hace pocos años se implementó una política de revisión obligatoria. El diseño sismo resistente se refiere a los documentos que contienen toda la información necesaria para la construcción del proyecto, allí se especifican todos los detalles de características geométricas y tipos de materiales a utilizarse. El presente trabajo se centra justamente en esta etapa del proceso de control de calidad, que no ha estado siendo controlada adecuadamente a nivel nacional, pero que en el caso del cantón Quito, se mejoró mediante la implementación de un proceso de revisión obligatoria a finales del año 2013.

A manera de referencia, es fundamental remitirnos a países que presentan mayores avances en cuanto al control de calidad del diseños sísmico de edificaciones, éste es el caso de países como Chile y Japón, reconocidos entre los países más sísmicos del mundo (Leyton, Ruiz, and Sepúlveda 2010), en los cuales se ha desarrollado una estrategia integral de requerimientos con el fin de reducir la vulnerabilidad de las construcciones. Un ejemplo basta para comprender la importancia del control de la calidad de construcción en edificaciones: A inicios del año 2010 se dieron grandes terremotos en Chile y Haití, en Chile murieron alrededor de 500 personas (Bárcena et al. 2010), mientras que en Haití murieron más de 200000 personas (Cavaletto 2012), cabe mencionar que el terremoto de Chile fue de 8.8 Mw, mientras que el sucedido en Haití fue de 7.0 Mw, es decir, en Haití sucedió un terremoto de menor magnitud. A partir de lo anteriormente indicado, se podría decir que las edificaciones pueden ser al mismo tiempo un refugio, o una trampa mortal para las personas que las habitan, dependiendo de cuán sismo resistentes son ante un terremoto.

En el caso de Haití, el control de calidad de las construcciones ha sido altamente deficiente, situación que se pretende revertir a partir del terremoto ocurrido en el año 2010. La legislación chilena de construcciones por su parte, plantea algo esencial, la revisión obligatoria e independiente de cada uno de los diseños sísmicos de los proyectos a construirse en el país (Saragoni 2011). En el caso de Japón, la elaboración de los diseños de ingeniería también requiere tener una aprobación por parte de especialistas de la construcción (Murota 1995). Se resalta a Japón y Chile debido a su excelente respuesta ante terremotos al ser países de alto peligro sísmico, pero varios países del mundo también realizan esta revisión, y otros lo han venido incorporando, como es el caso de Nueva Zelanda que se alinea con este sistema y ha venido por ejemplo implementando nuevas reglas para la emisión de licencias de los profesionales que realizan diseño estructural (Hopkins et al. 2008).

El caso de Chile es notable, ya que siendo considerado por algunos como el país más sísmico del mundo (Cisternas 2011), ha logrado convertirse en una referencia en cuanto a su seguridad sísmica y respuesta ante terremotos, y claramente es un ejemplo a seguir para el Ecuador, ya que ambos países se encuentran en el cinturón de fuego del pacífico. Es ante esta brecha tan impactante, entre países destruidos por los sismos y países que logran resistirlos, que surge la necesidad de incrementar el control de la calidad de construcciones sísmicas en el país.

Control de calidad de construcciones: la parte clave del proceso no está siendo controlada

El profesional capacitado para realizar la actividad de diseño estructural (diseño sismo resistente) en el Ecuador, es un Ingeniero Civil, o un profesional de la Ingeniería Mecánica que tenga un título de cuarto nivel en diseño de estructuras. Este profesional está en la obligación de aplicar en su diseño todos los requerimientos que exige la normativa vigente de construcción, y el problema justamente radica en que nadie controla de manera rigurosa que esto se cumpla, y en la mayoría de los casos, se evidencian los defectos del diseño, ya cuando la construcción ha colapsado.

Hasta finales del año 2013, en el cantón Quito, el profesional en cuestión podía realizar un diseño estructural, colocar su firma profesional en los correspondientes documentos técnicos, y (sin ninguna revisión de su diseño) realizar los trámites respectivos para obtener la licencia

metropolitana urbanística, también conocida como licencia de construcción, que es el documento habilitante para poder iniciar cualquier actividad ejecutoria de construcción.

Con el objetivo de ilustrar de manera resumida el problema que representa el insuficiente control de los diseños sísmicos en el país, se ejemplifica el siguiente caso, dentro del marco procedimental existente para la construcción de una edificación: suponiendo que un ingeniero civil realice un diseño estructural sismo resistente que no cumpla con los requisitos normativos obligatorios, en el proceso de revisión no hay nadie que se encargue de revisar y aprobar este diseño, ya que únicamente se requiere que el profesional coloque su firma de responsabilidad y se supone que esto es suficiente para tener la seguridad de que se está cumpliendo con todos los lineamientos normativos. Al contar con esta firma del profesional, el municipio en cuestión otorga la licencia de construcción al proyecto. Es entonces que el proyecto inicia su construcción de acuerdo al diseño estructural aprobado. Luego de un tiempo, la construcción finaliza y un inspector municipal revisa que lo que está construido corresponda a lo que está planteado en los documentos de diseño originalmente aprobado. El inspector, con el criterio mencionado, procede a validar que la construcción está correcta y de ser así, otorga el permiso para que las personas puedan habitar el inmueble. Las personas pasan a habitar la edificación, pero hasta este punto nadie ha revisado si el diseño estructural sismo resistente original era deficiente, y en el momento de un terremoto esta edificación puede ser altamente vulnerable y proclive a un colapso.

En el caso mencionado, se puede identificar claramente una falencia en el proceso, ante lo cual, se ratifica la importancia de controlar y revisar este punto, con el fin de generar un incremento sustancial en el perfil preventivo de las políticas de vivienda, lo cual es necesario si se pretende reducir los niveles de vulnerabilidad sísmica de las construcciones en el país. A partir del contexto señalado, es pertinente analizar una política que resuelva la falencia planteada. Para ello, se analiza a manera de estudio de caso, el efecto económico ocasionado por una política de revisión obligatoria de los diseños sísmicos de edificaciones, esta medida tuvo lugar en el cantón Quito, y es el primer lugar del país, en el que hasta el momento se ha planteado esta rigurosa revisión de los diseños.

En la práctica no es tan sencillo: limitantes económicas para la mejora de las normativas de construcción

Es pertinente añadir al contexto del presente estudio un dato muy interesante, y es que la Norma Ecuatoriana de la Construcción 2011 conocida como NEC-11, pretendió dar un gran salto en su nivel de exigencia con respecto a la normativa anterior, el Código Ecuatoriano de la Construcción CEC-2000. La NEC-11, establecía altos estándares sísmicos con respecto a la anterior normativa, y al entrar en vigencia esta norma, el sector de la construcción no lo resistió por mucho tiempo, ya que los precios de las edificaciones se elevaron considerablemente. Fue así que meses más tarde, dicha normativa fue reemplazada por otra que establecía exigencias algo menores, la NEC-15.

En un recuento histórico de las últimas décadas, se puede apreciar que las normativas de construcción han sido actualizadas cada cierto período de tiempo. Cabe profundizar el análisis en las dos últimas actualizaciones de la normativa, ya que permiten visualizar los desafíos que tienen los hacedores de política pública junto a los expertos técnicos, al momento de desarrollar las normativas de construcción.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, representó un paso importante en el diseño sismo resistente de estructuras en el país, formalizando una cantidad muy grande de criterios técnicos adicionales respecto a la normativa anterior, principalmente destacó la filosofía de diseño sismo resistente y las consideraciones para el cálculo de la fuerza sísmica de diseño, elementos técnicos que prácticamente definen en su totalidad la conceptualización del comportamiento de una edificación ante un evento sísmico. En la tabla 4 se puede apreciar una síntesis de la filosofía de diseño sismo resistente de estructuras según la normativa vigente en el Ecuador.

Tabla 4. Síntesis de la filosofía de diseño sismo resistente

Nivel de desempeño estructural (prevención)	Elementos Estructurales	Elementos no estructurales	Tasa anual de excedencia
Servicio	Ningún daño	Ningún daño	0.023
Daño	Ningún daño	Daños	0.01389
Colapso	Cierto grado de daño	Daños considerables	0.00211

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015

La tabla anterior muestra el nivel de desempeño de la edificación, asociada al grado de daño esperado en elementos estructurales y no estructurales, según la magnitud del evento sísmico. El nivel de desempeño cataloga tres escenarios: servicio, daño y colapso; cada uno de estos escenarios se define en función del nivel de daño en los elementos y la tasa anual de excedencia.

Se entiende a los elementos estructurales como el conjunto de elementos principales de la edificación que sirven para que resista cargas verticales, sísmicas y de cualquier otro tipo (NEC 2015), por ejemplo: columnas, vigas, muros, zapatas, etc. Por otro lado, los elementos no estructurales de una edificación son: cielo falso, puertas, ventanas, etc. En cuanto a la tasa anual de excedencia, representa la probabilidad de que suceda cierto sismo en cierta temporalidad, cabe señalar que un movimiento sísmico de mayor magnitud por lo general estará asociado a un menor valor de tasa anual de excedencia.

Los requisitos mínimos de diseño sismo resistente para estructuras de ocupación normal, según la normativa ecuatoriana vigente son:

- “Prevenir daños en elementos no estructurales y estructurales, ante terremotos pequeños y frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura” (NEC 2015). Es decir que, ante movimientos sísmicos pequeños y frecuentes, una edificación debería prevenir daños en todos sus elementos.
- “Prevenir daños estructurales graves y controlar daños no estructurales, ante terremotos moderados y poco frecuentes, que pueden ocurrir durante la vida útil de la estructura” (NEC 2015). Es decir que, ante movimientos sísmicos moderados y poco frecuentes, una edificación debería prevenir daños graves en sus elementos estructurales y tener controlados los daños no estructurales.
- “Evitar el colapso ante terremotos severos que puede ocurrir rara vez durante la vida útil de la estructura, procurando salvaguardar la vida útil de sus ocupantes” (NEC 2015). Es decir que, ante movimientos sísmicos severos y de rara ocurrencia, una edificación debería evitar el colapso, siendo el objetivo prioritario salvaguardar la vida de los ocupantes.

Los conceptos planteados en esta normativa ya se utilizaban años atrás en otros países, y en algunos casos, también en el Ecuador, pero esto dependía hasta cierto punto de cada profesional. Una vez implementado el carácter obligatorio de esta normativa, se orientó a los profesionales hacia el cumplimiento del diseño estructural sísmo resistente en los marcos técnicos vigentes.

La normativa NEC-11 representó un incremento en el costo de construcción de edificaciones, ya que los requerimientos de diseño sísmo resistente se volvieron más rigurosos con respecto al código anterior CEC2000, ocasionando que se necesite diseñar estructuras de geometrías más robustas (que utilizan mayor cantidad de materiales) para cumplir con la normativa. Algunos ejemplos puntuales de los aspectos en los que se incrementó la exigencia normativa son: se incrementó la fuerza sísmica de diseño, se volvió más exigente el chequeo del desplazamiento lateral de la estructura, se establecieron dimensiones mínimas más grandes para varios elementos estructurales, entre otros factores de la nueva normativa que se instauraron con el fin de brindar más seguridad a las personas en el caso de un evento sísmico.

Para la subsiguiente actualización normativa denominada Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-15, se redujo ligeramente la fuerza sísmica de diseño, lo cual podría entenderse como un pequeño paso hacia atrás en cuanto a capacidad sísmo resistente de las estructuras planteadas por la NEC-11, pero continuaba siendo un importante paso hacia adelante con respecto a la normativa CEC2000. El ajuste que se realizó en las fuerzas sísmicas de diseño consideradas en la NEC-15, podría deberse al incremento en el costo de construcción de las edificaciones.

En este contexto, es oportuno también mencionar que las últimas normativas NEC-11 y NEC-15, brindan directrices de diseño estructural donde se consideran distintas metodologías de análisis no lineal de estructuras, este tipo de análisis entre varias de sus aplicaciones, permite conocer el comportamiento de la estructura luego de superar el rango elástico,¹ permitiendo aportar con criterios adicionales a la optimización de las cantidades de materiales requeridos en el diseño.

¹ Superar el rango elástico se refiere a que, luego de un movimiento, la estructura no regresa a su configuración geométrica original y su deformación es permanente.

Los últimos avances en el diseño sísmico han incorporado nuevos conceptos, como por ejemplo: definir estados límites adecuados para distintos niveles de intensidad sísmica; controlar daños locales en los elementos, además de evaluar el daño global de la estructura. Se introduce una lógica orientada al “Diseño por Desempeño”, que incluye controles de desplazamientos para diferentes objetivos de desempeño, consideraciones energéticas, modelos e índices de daño acumulado, entre otros (Lafuente, Grases, y Genatios, 2014, 131).

En el contexto ecuatoriano, los materiales más utilizados para la construcción de viviendas y edificaciones son el hormigón armado y el acero, es pertinente mencionar esto ya que el tipo de material utilizado para el diseño no es el que define el comportamiento de la estructura ante un sismo, sino, la correcta configuración estructural de la edificación y la filosofía de diseño resistente aplicada. Es así que se puede resumir a continuación dos de las principales líneas de diseño sismo resistente utilizadas en Ecuador, dependiendo del tipo de uso, destino e importancia de la edificación.

La línea de diseño teóricamente más utilizada en el país, se refiere al diseño de la estructura para que soporte un sismo relativamente bajo en el rango elástico. En este enfoque se considera que si el sismo es mayor al estimado inicialmente, la estructura puede sufrir gran cantidad de daños no estructurales, incluso hasta el punto de quedar inservible luego del evento sísmico, pero la idea es que a toda costa se procure evitar el colapso mientras los ocupantes están adentro de la estructura. En el caso de suceder un efecto sísmico mayor que el estimado, la estructura tendría la capacidad de disipar energía en el rango inelástico, deformándose lo máximo posible para dar mayor tiempo a las personas, para salir de la estructura antes de que suceda el colapso de la misma.

La línea de diseño menos utilizada en el país, ya que actualmente sólo aplica a estructuras de relativa mayor importancia para la sociedad, se refiere al diseño de la estructura para que soporte un sismo relativamente alto en el rango elástico, considerando que los daños no estructurales sean mínimos o nulos, para que la estructura pueda mantener su función durante y después del evento sísmico, y en el caso de suceder un efecto sísmico mayor que el estimado, se podría también contar con capacidad de disipar energía en el rango inelástico, deformándose lo máximo posible para dar mayor tiempo a las personas, para salir de la estructura antes de que suceda su colapso.

Las dos líneas anteriormente planteadas, claramente sugieren que las estructuras más seguras son las que se diseñan para resistir un sismo de diseño relativamente alto en el rango elástico, es decir, manteniendo capacidad de operación, funcionalidad y servicio. La normativa ecuatoriana plantea esta exigencia en estructuras que se requiere que sigan operando normalmente después de un terremoto, estas estructuras son consideradas edificaciones esenciales y de ocupación especial (NEC 2015), y son los hospitales, instalaciones militares, centros de telecomunicaciones, etc. El detalle de esta clasificación se indica en la tabla 5.

Desde la perspectiva de seguridad sismo resistente, sería deseable aplicar este criterio de diseño a todas las estructuras del país, pero esto conlleva actualmente un mayor costo, ya que para lograr que la estructura tenga ese comportamiento, se requiere de una mayor cantidad de materiales estratégicamente ubicados o de tecnologías de disipación de energía, como por ejemplo aisladores sísmicos, que en la actualidad del país no logran aún tener una aplicación o difusión masiva. En la tabla 5 se indican las distintas categorías de las estructuras en el Ecuador según su importancia, cabe mencionar que dependiendo de su categoría la estructura se plantea con la correspondiente filosofía de diseño sismo resistente. El factor de importancia o Coeficiente I que se visualiza en la tabla 5, multiplica la fuerza sísmica de diseño de una estructura, amplificándola (en el caso de edificaciones esenciales y estructuras de ocupación especial) de tal manera que sea diseñada para resistir un movimiento sísmico de mayor magnitud.

El tema del costo es un condicionante tan decisivo, que hace que el desafío de que en el Ecuador se diseñen estructuras que resistan cargas sísmicas relativamente altas, sea algo que se deba planificar con muchos años de anticipación y con la inclusión de criterios multidimensionales que fortalezcan las diferentes perspectivas de desarrollo al que se orienta nuestro país.

Tabla 5. Tipo de uso, destino e importancia de la estructura

Categoría	Tipo de uso, destino e importancia	Coefficiente I
Edificaciones esenciales	Hospitales, clínicas, Centros de salud o de emergencia sanitaria. Instalaciones militares, de policía, bomberos, defensa civil. Garajes o estacionamientos para vehículos y aviones que atienden emergencias. Torres de control aéreo. Estructuras de centros de telecomunicaciones u otros centros de atención de emergencias. Estructuras que albergan equipos de generación y distribución eléctrica. Tanques u otras estructuras utilizadas para depósito de agua u otras sustancias anti-incendio. Estructuras que albergan depósitos tóxicos, explosivos, químicos u otras sustancias peligrosas.	1.5
Estructuras de ocupación especial	Museos, iglesias, escuelas y centros de educación o deportivos que albergan más de trescientas personas. Todas las estructuras que albergan más de cinco mil personas. Edificios públicos que requieren operar continuamente	1.3
Otras estructuras	Todas las estructuras de edificación y otras que no clasifican dentro de las categorías anteriores	1.0

Fuente: Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015

Para esclarecer lo complicado (no imposible) de esta transición hacia estructuras más seguras, se puede plantear un ejemplo puntual que permite visualizar que solamente la implementación de cambios menores en la normativa de construcción, implica un trabajo de varios años. Los requerimientos técnicos de las normativas NEC11 y NEC-15, empiezan de manera implícita a plantear una transición para dejar de utilizar las denominadas “vigas banda”, tecnología que se ha venido utilizando desde hace muchas décadas en el Ecuador, principalmente en viviendas pequeñas, y que resulta bastante económica y fácil de implementar en el proceso constructivo, pero que no brinda la seguridad sismo resistente deseable, ya que es deficiente al momento de disipar energía cuando la estructura ha superado el rango elástico. La transición implícita que se está generando a partir de las normativas NEC, es la implementación de, por lo menos, “vigas descolgadas”, lo cual representa un sistema un poco más confiable que el anterior, ya que en principio permite que la disipación de energía funcione mejor.

Esta transición implica que se utilice una mayor cantidad de materiales, y que se replantee ligeramente el proceso constructivo e incluso las consideraciones arquitectónicas en viviendas pequeñas. A pesar de que este requerimiento continúa siendo relativamente pequeño para lograr una mejora sustancial en el diseño sismo resistente de estructuras, existen todavía

sectores de la construcción que se mantienen reacios a la implementación de este cambio, debido al mayor costo que implica. Este panorama continúa cambiando a lo largo de los años, y poco a poco se logra posicionar en la sociedad y el sector de la construcción, la necesidad de implementar estas mejoras en la construcción con el fin de salvaguardar la vida de las personas. Es así que, en términos económicos y sociales, es un desafío complicado la implementación de mejoras en el diseño sismo resistente, pero es una tarea totalmente necesaria. Cabe mencionar el caso de países como Perú o Chile, donde se ha logrado incrementar la utilización de edificaciones de muros en lugar de edificaciones aporricadas, lo cual ha permitido realizar diseños que permitan tener un mejor control de daños y un mejor comportamiento sismo resistente (Lafuente, Grases, y Genatios 2014).

Ante la problemática expuesta, cabe también acotar que se requiere mantener firme la voluntad política de implementar con carácter obligatorio mejoras normativas, pero esta voluntad evidentemente debe estar acompañada de un análisis profundo que considere a todos los actores de la sociedad que están atravesados por la dinámica económica que se genera en el sector de la construcción. Esta visión permite enriquecer la perspectiva de gestión de política pública de construcción y permite entender que los grandes desafíos sociales deberían ser orientados a que la sociedad en su conjunto pueda enfrentarlos, mucho más en el sector de la construcción, que llega de una u otra manera a cada rincón de la sociedad. Los hacedores de política pública tienen la gran misión de establecer actualizaciones normativas que no solo obedezcan a la técnica sismo resistente o solo al costo de construcción, sino a un equilibrio entre ambas que permita transiciones estables del sector de la construcción y todos los actores que este involucra, hacia una mejora de la calidad sismo resistente de las edificaciones del país.

Desde la perspectiva técnica del diseño sísmico, una normativa más exigente indudablemente va a significar mayores niveles de seguridad para las construcciones. Ante esta realidad se tienen dos alternativas: La primera es netamente ingenieril referente a encontrar configuraciones estructurales más eficientes, es decir que con la misma (o menor) cantidad de materiales, se obtenga una mayor capacidad de respuesta sísmica. Esta alternativa definitivamente es la más deseable, ya que sería muy beneficiosa en términos económicos y en su potencial aplicación a gran escala para la población; pero por el momento depende de los avances científicos en la materia. La segunda alternativa es netamente económica, se requiere saber hasta dónde es adecuado elevar la exigencia de seguridad sísmica, sin que el

costo de las estructuras se eleve tanto que pueda volverse inaccesible para un sector de la población, ocasionando un complicado dilema: o bien, construir casas más seguras, para menos gente; o bien, construir casas menos seguras, para más gente. Sin duda, hacia donde debemos apuntar es a un equilibrio en el que sea posible construir casas más seguras, para más gente.

Descripción de la intervención: Política obligatoria de revisión de diseños sísmicos en Quito

El Ecuador requiere fomentar la construcción de estructuras que cumplan con altos estándares sísmicos. Una de las alternativas para lograr esto ha sido erradicar progresivamente el sector informal de la construcción, con el fin de que las construcciones puedan ser controladas de mejor manera por profesionales en este campo, disminuyendo así su vulnerabilidad ante eventos sísmicos. En este sentido, históricamente se han establecido dos categorías principales en el sector de la construcción del Ecuador: construcciones formales e informales. La formalidad de una construcción se refiere a la tenencia o no de la licencia de construcción, documento conferido por los distintos municipios del país.

Como fue mencionado anteriormente, para que esta licencia sea otorgada, se requieren varios insumos, uno de los más importantes, y en el que se enfoca el presente estudio, es el diseño sísmico, documento que (en teoría) posee toda la información técnica para la correcta construcción de un proyecto, con base en los estándares de la normativa de construcción vigente, la cual estipula los requisitos obligatorios de seguridad que deberían cumplir todas las construcciones en el país.

De lo anteriormente descrito, parecería que el hecho de contar con la licencia de construcción de un proyecto, garantiza de por sí la correcta construcción del mismo, bajo los respectivos estándares de seguridad sísmica. Pero esto no es así, de hecho, el contar con la licencia de construcción únicamente asegura que el proyecto entra en la categoría de construcción formal, pero no asegura que dicha construcción cumpla con los estándares de seguridad sísmica estipulados en la normativa vigente.

¿Cómo sucede esto? Cuando se supone que existe una normativa obligatoria que establece los requisitos de diseño estructural sismo resistente. La respuesta es simple y se remite al proceso de obtención de las licencias de construcción, donde se genera una especie de autorregulación

en los diseños. En el caso del cantón Quito, para que el diseño de ingeniería estructural de un proyecto sea aprobado y pueda obtener su licencia de construcción se requería solamente la firma de responsabilidad de un profesional calificado, el inconveniente es que el único requisito era éste, y no existía ningún control adicional que indique si dicho ingeniero civil, estaba cumpliendo o no con los requisitos normativos sismo resistentes. Hasta hace poco, ninguna institución controlaba si efectivamente los profesionales estaban cumpliendo con la normativa de construcción. Esto generó una especie de autorregulación en el campo de la ingeniería civil, ya que se cumplía con las formalidades legales del caso, pero nadie verificaba si el diseño de ingeniería estructural era correcto.

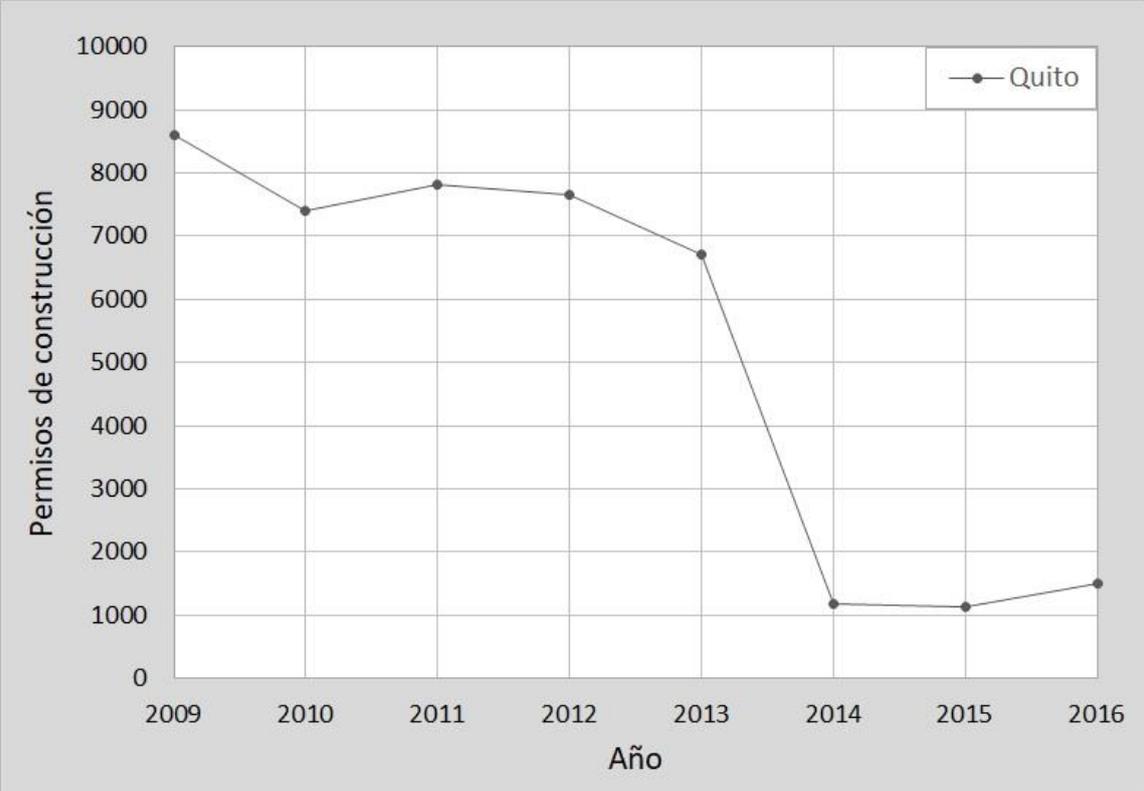
En este contexto, a partir del mes de octubre del año 2013, las reglas cambian en el cantón Quito, y por resolución municipal (Concejo Metropolitano de Quito 2013), se incluye un requisito adicional obligatorio para la obtención de la licencia de construcción : Se requiere que el diseño de ingeniería estructural de cada proyecto de construcción del sector privado, sea revisado por una institución que certifique si el proyecto en cuestión cumple o no con los estándares normativos de construcción en el país, con especial énfasis en los aspectos del diseño sísmico.

La institución revisora, denominada Entidad Colaboradora de Proyectos, adquiere la potestad de aprobar o negar los proyectos de construcción. A partir de este punto, la certificación de conformidad otorgada por el grupo de ingenieros civiles revisores de la Entidad Colaboradora de Proyectos, se vuelve requisito indispensable en el cantón Quito, para obtener la correspondiente licencia de construcción, lo cual obliga y condiciona a todos los promotores de construcción a pasar por este trámite de revisión.

El efecto que generó esta institución desde su primer día de funcionamiento, es evidenciar que muchos de los proyectos no cumplían a cabalidad con lo que estipulaba la normativa vigente de construcción del Ecuador, muestra de ello es la reducción repentina que hubo en la cantidad de permisos de construcción emitidos (INEC 2014), lo que se puede apreciar en la figura 2. Varios proyectos fueron negados, y otros, demoraban varios meses para ser aprobados. Es así que se generó un efecto de transición en el sector de la construcción, se había acabado la especie de autorregulación que existía, para establecerse una regulación externa a cada profesional de la ingeniería civil. Esta dinámica evidentemente incidía de manera positiva en la mejora del control de calidad del diseño sismo resistente de las

construcciones, pero claramente implicó un mayor nivel de exigencia al sector de profesionales dedicados al diseño de la ingeniería estructural de los proyectos.

Figura 2. Permisos de construcción en el cantón Quito



Fuente: INEC 2016. Encuesta de edificaciones

Capítulo 2

Método de Control Sintético

En el contexto explicado anteriormente, se procede a evaluar el efecto económico de la política de revisión obligatoria aplicada en el cantón Quito, a esta política se la puede denominar como intervención o tratamiento, en términos de un estudio de evaluación de impacto. Al ser el cantón Quito la única zona del país en la que el tratamiento fue aplicado, es idónea la aplicación del Método de Control Sintético (Abadie, Diamond, and Hainmueller 2010), ya que se puede utilizar otros cantones del país como potenciales unidades de control que den lugar a la construcción de un grupo de control sintético, tal como se explicará a continuación. La herramienta principal del Método de Control Sintético consiste en contrastar la trayectoria de la unidad tratada, con una trayectoria contrafactual conformada por la combinación de varias unidades de control que no han recibido el tratamiento. En este caso, se compara la tendencia de los datos del cantón Quito, con la tendencia resultante de la combinación de los datos de varios cantones, los cuales son elegidos de entre un grupo denominado “cantones donantes”, mediante el desarrollo de la metodología matemática efectuada por Abadie (Abadie, Diamond, and Hainmueller 2011) y complementada por Galiani (Galiani and Quistorff 2017).

En términos comparativos, el método de control sintético al igual que el método de diferencias en diferencias, requiere de datos antes y después de la intervención, pero ambos métodos son distintos al momento de identificar las unidades de control, ya que en el caso del método de control sintético no es una unidad, sino un grupo de unidades que mediante la metodología matemática que se explicará más adelante, aportan (en diferentes pesos porcentuales) a la conformación de una trayectoria sintética bastante aproximada a la de la unidad de tratamiento, conformando un escenario teórico que permite plantear una trayectoria contrafactual visualmente más precisa que el *common trend assumption* utilizado en la metodología de diferencias en diferencias, el cual se concentra más en la similitud de las trayectorias que en la coincidencia de los órdenes de magnitud de los valores analizados.

Abadie plantea el siguiente desarrollo matemático para la conformación del Método de Control Sintético (Abadie, Diamond, and Hainmueller 2012):

Se plantean las unidades

$$j = 1, \dots, J + 1$$

Donde se asume que únicamente la primera unidad es en la que sucede la intervención analizada, las demás unidades pasan a conformar el grupo de unidades donantes potenciales para conformar el grupo de control sintético.

Se plantean los periodos de tiempo

$$t = 1, \dots, T$$

Donde

$$1, 2, \dots, T_0$$

Son los periodos de pre intervención

$$T_0 + 1$$

Es el tiempo en el que ocurre la intervención

$$T_0 + 1, T_0 + 2, \dots, T$$

Son los periodos de post intervención

El grupo de control sintético se estima mediante un vector $(J \times 1)$ con los respectivos pesos $W = (w_2, \dots, w_{J+1})'$, donde cada W es un potencial integrante del grupo de control sintético

Donde

$$w_2 + \dots + w_{J+1} = 1$$

$$w_j \geq 0 \text{ para } j = 2, \dots, J + 1$$

Se plantea a X_1 como un vector $(k \times 1)$ que contiene los valores del periodo de pretratamiento de la unidad tratada, mientras se plantea a X_0 como la matriz $k \times J$ que contiene los valores de las unidades donantes.

Se plantea el siguiente vector para calcular la diferencia entre la unidad tratada en su periodo de pretratamiento y las unidades donantes:

$$X_1 - X_0W$$

El control sintético seleccionado W^* es aquel que presenta la diferencia mínima; Es así que se selecciona como W^* al valor de W que minimiza la siguiente expresión

$$\sum_{m=1}^k v_m (X_{1m} - X_{0m}W)^2$$

Donde es pertinente anotar que

$$X_{1m}$$

Es el valor para el caso de la unidad tratada, de la variable m -th, para $m = 1, \dots, k$

$$X_{0m}$$

Es el vector $(1 \times J)$ para el caso de las unidades donantes, que contiene los valores de la variable m -th, para $m = 1, \dots, k$

$$v_m$$

Representa un peso que indica la relativa importancia que se asigna a la variable m -th al momento de medir la diferencia mediante la expresión $X_1 - X_0W$. A las variables con mayor poder predictivo se les asigna mayores pesos v_m

Se emplea el método de validación cruzada para realizar la elección de v_m , es decir, el cálculo repetitivo de la media aritmética en diferentes grupos de datos con el objetivo de lograr el ajuste de un modelo. Para ello, se plantea que

$$Y_1 = (Y_{1T_0+1}, \dots, Y_{1T})'$$

Donde es pertinente anotar que

$$Y_{jt}$$

Es el resultado de j en el periodo de tiempo t

$$Y_1$$

Se refiere a un vector $(T_1 \times 1)$ que se refiere a la unidad tratada y contiene los valores de la etapa post intervención

En complemento, se plantea a Y_0 como una matriz $(T_1 \times J)$, que se refiere a las unidades $j + 1$ y contiene en la columna j los valores de resultado de la etapa post intervención. A continuación, se procede a plantear $Y_1 - Y_0 W^*$, como estimador de control sintético del efecto del tratamiento, comparando la unidad tratada con el grupo de control sintético en el periodo de post intervención t , para $t \geq T_0$, resulta la siguiente expresión:

$$Y_{1t} - \sum_{j=2}^{J+1} W_j^* Y_{jt}$$

Una vez descrita la metodología matemática desarrollada por Abadie que sirve como sustento para el método de control sintético, se puede visualizar que la metodología mencionada es idónea para el presente estudio, ya que Quito fue el único cantón en Ecuador en adoptar la política de revisión obligatoria del diseño sismo resistente de edificaciones. Es así que, para realizar el análisis de este estudio de caso, se requiere definir los siguientes parámetros: unidad tratada, unidades de control, año en el que se efectuó la intervención, variable dependiente y variables predictoras.

Se procede a designar al cantón Quito como unidad tratada, y se procede a elegir los quince cantones de mayor población del país en el año 2013 (ver tabla 6), como cantones donantes, esto es, como unidades de control potenciales para la conformación del denominado grupo de control sintético. Estos cantones presentan una importante dinámica en el sector de la construcción y un histórico de datos de construcción completo desde el año 2007. En el desarrollo del modelo econométrico, se considera al año 2014 como el año en el que sucede la intervención (ya que la misma ocurre en octubre del año 2013). Se establece como variable dependiente, al componente parcial de construcción del valor agregado bruto VAB (variable macroeconómica), indicador bastante pertinente para medir el efecto económico de la política aplicada, ya que se centra específicamente en el sector de la construcción a nivel cantonal.

Como variables predictoras, se utilizaron los indicadores que se mencionan a continuación. De las Cuentas Cantonales del Banco Central de Ecuador (BCE 2007-2016) se obtuvo los datos de: producción (variable macroeconómica), consumo intermedio (variable macroeconómica) y componente parcial del valor agregado bruto VAB en actividades profesionales e inmobiliarias (variable macroeconómica). De la Encuesta de Edificaciones

(INEC 2007-2016) se recabó los datos de: permisos de construcción, valor total de la edificación, número de viviendas por edificación y número de dormitorios calculado. De las Estadísticas de Nacimientos y Defunciones INEC (INEC 2007-2016) se obtuvo la cantidad de nacidos vivos total y del Registro Estadístico de Matrimonios y Divorcios INEC (INEC 2007-2016) se recabó los datos de la cantidad de matrimonios.

Tabla 6. Cantones del Ecuador con mayor población año 2013

CANTÓN	CODCANT	POBLAC
Guayaquil	901	2531223
Quito	1701	2458900
Cuenca	101	558127
Santo Domingo	2301	403063
Ambato	1801	356009
Portoviejo	1301	300878
Machala	701	266638
Durán	907	263970
Manta	1308	244348
Riobamba	601	243760
Loja	1101	238171
Esmeraldas	801	203881
Ibarra	1001	197907
Quevedo	1205	189834
Latacunga	501	185698

Fuente: INEC 2016. Proyecciones Poblacionales.

Datos

Los datos utilizados, fueron obtenidos de la serie cantonal del parcial del valor agregado bruto VAB en el sector de la construcción, en el total de series históricas existentes, que van desde el año 2007 hasta el año 2016 y son publicadas anualmente en las Cuentas Cantonales del Banco Central del Ecuador BCE (BCE 2007-2016). Se obtuvo también de estas publicaciones, los datos de producción nacional y el componente parcial del valor agregado bruto en actividades profesionales e inmobiliarias. Los últimos datos fueron utilizados para la conformación de variables predictoras.

Para la conformación de las demás variables predictoras, se utilizaron datos de la Encuesta de Edificaciones publicada anualmente por el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (INEC 2007-2016), se empleó la serie cantonal anual de datos de permisos de construcción,

número de viviendas por edificación, número de dormitorios calculado. De las Estadísticas de Nacimientos y Defunciones INEC (INEC 2007-2016) se obtuvo la cantidad de nacidos vivos total y del Registro Estadístico de Matrimonios y Divorcios INEC (INEC 2007-2016) se recabó los datos de la cantidad de matrimonios.

Previo a ser utilizados como variables predictoras, todos los datos obtenidos fueron corregidos por tamaño con el fin de manejar el valor per cápita de los mismos, para esto se utilizaron las Proyecciones Poblacionales del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos INEC (INEC 2016). Los Códigos Cantonales fueron obtenidos de esta misma fuente. En la tabla 7 se muestran los intervalos de cada fuente de datos utilizada, en la tabla 8 se indica la respectiva catalogación de las variables en formato de diccionario de datos.

Tabla 7. Intervalos de tiempo de las fuentes de datos utilizadas

Encuesta/Fuente	Intervalo	Intervalo Gráfico 1991 - 2016	
		<i>1991-2006</i>	<i>2007-2016</i>
ENCUESTA EDIFICACIONES - INEC	1991 - 2016	█	█
PROYECCIONES POBLACIONALES - INEC	1991 - 2016	█	█
CUENTAS CANTONALES - BANCO CENTRAL	2007 - 2016	█	█
NACIMIENTOS - INEC	1991-2016	█	█
MATRIMONIOS - INEC	2000-2016	█	█

Fuente: INEC y BCE

Tabla 8. Catalogación de variables utilizadas en el presente estudio

Variable	Descripción	Unidad	Fuente	Encuesta
CODCANT	Código Cantonal	u	INEC	Edificaciones
AÑO	Año	u	N/A	N/A
POBLAC	Proyecciones Poblacionales Cantonales	u	INEC	Proyecciones Poblacionales

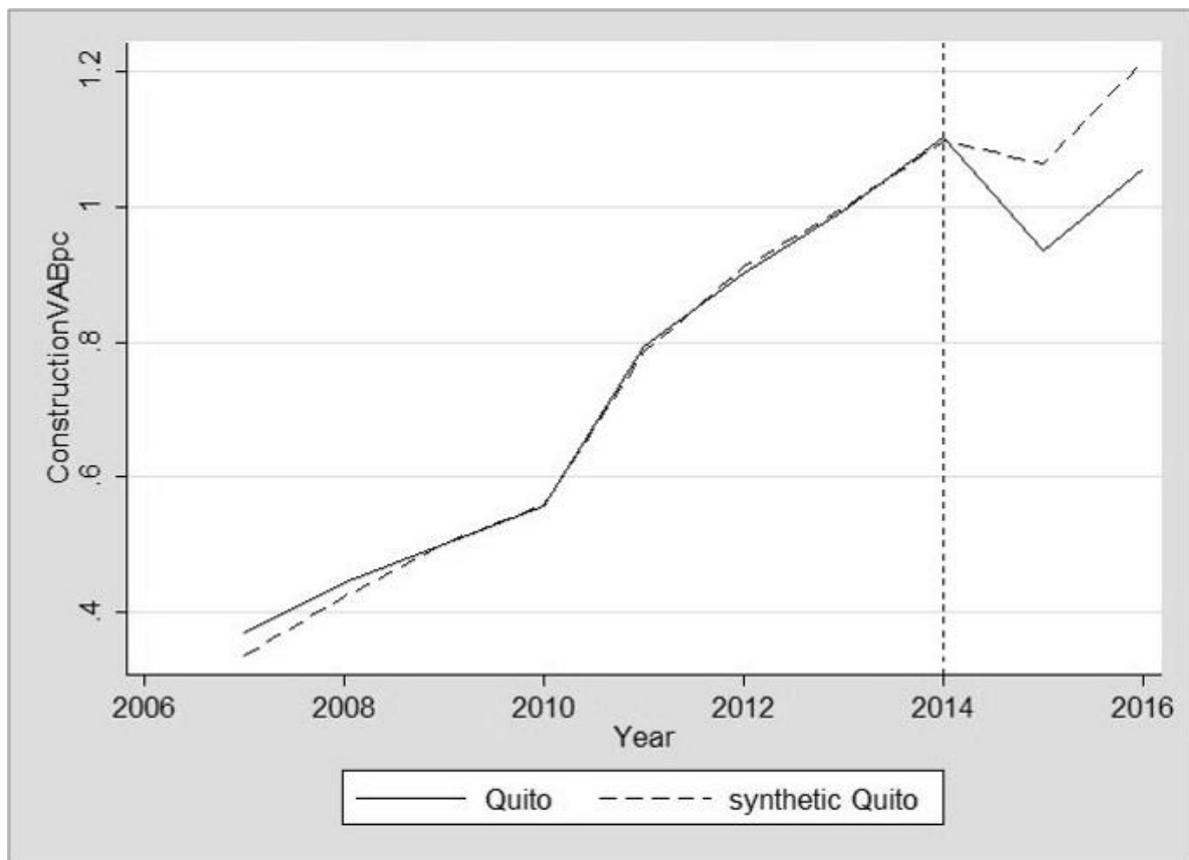
PRODUCC	Producción	miles de dólares	Banco Central	Cuentas Nacionales/Cuentas Cantonales
VAB5	Parcial del VAB en: Construcción	miles de dólares	Banco Central	Cuentas Nacionales/Cuentas Cantonales
VAB10	Parcial del VAB en: Actividades profesionales e inmobiliarias	miles de dólares	Banco Central	Cuentas Nacionales/Cuentas Cantonales
PERMISOS	Número de permisos de construcción calculado	u	INEC	Edificaciones
NUMVIV	Número de viviendas por edificación (sumatoria cantonal)	u	INEC	Edificaciones
NUMDORMIT	Número de dormitorios calculado (sumatoria cantonal)	u	INEC	Edificaciones
NACITOTAL	Cantidad de nacidos vivos total (hombres + mujeres)	u	INEC	Nacimientos y Defunciones
MATRIM	Cantidad de matrimonios (sumatoria cantonal)	u	INEC	Matrimonios y Divorcios

Fuente: INEC y BCE.

Resultados

El grupo de control sintético obtenido se visualiza en la Figura 3. El mismo está compuesto por las ciudades de Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo, con los pesos porcentuales indicados en la tabla 9. Se aprecia claramente una tendencia similar entre el Cantón Quito y el grupo de control sintético hasta el año 2014, año en el que se aplica la intervención.

Figura 3. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Quito vs synthetic Quito



Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 9. Pesos de las unidades de control para la conformación del synthetic Quito

Cantones	Peso de las unidades
Cuenca	0.278
Latacunga	0
Riobamba	0
Machala	0
Esmeraldas	0
Guayaquil	0.32
Durán	0
Ibarra	0
Loja	0
Quevedo	0
Portoviejo	0.147
Manta	0
Ambato	0.255
Santo Domingo	0

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico

Se visualiza además, en la tabla 10, la comparación de valores de las variables predictoras, entre la unidad tratada y el grupo sintético.

Tabla 10. Valores de unidad tratada Quito vs grupo sintético Quito

Variables predictoras (per cápita)	Tratada	Sintética
Permisos de construcción	0.0026944	0.0033558
Número de dormitorios	0.0223452	0.022378
Producción	12.42503	8.912184
Parcial del VAB en actividades profesionales e inmobiliarias	1.553306	0.6870604
Número de viviendas	0.008703	0.008051
Cantidad de matrimonios	0.0060525	0.0057434
Cantidad de nacidos vivos	0.020195	0.0215321

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico

Inferencia

Dada la diferencia entre la trayectoria del grupo sintético y el valor agregado bruto per cápita del cantón Quito, se puede resaltar que posterior a la intervención, la diferencia entre la tendencia de Quito y su contrafactual es más amplia, por lo que se visualiza un efecto ocasionado por la intervención, pero se debe determinar si dicho efecto es estadísticamente significativo para establecer si la política en cuestión tuvo un impacto en la variable tratada.

Para comprobar si el efecto de la intervención es estadísticamente significativo, se procede a realizar las correspondientes pruebas de Placebo, las cuales consisten en la conformación de varios grupos de control sintético. Se reemplaza a la unidad tratada por cada uno de los cantones donantes y se aplica el modelo como si el tratamiento hubiera tenido lugar en cada uno de estos cantones, con esto se conforma un grupo de control sintético por cada uno de los cantones donantes que fueron considerados como unidad tratada.

El objetivo de esta prueba es determinar los RMSPE o Root Mean Squared Prediction Error de cada uno de los placebos. A partir de este resultado, se procede a obtener los p-values estandarizados (Galiani and Quistorff 2017), los cuales consideran el bajo nivel de coincidencia que puedan presentar los grupos sintéticos de cada placebo, con su respectiva unidad tratada, previo a la intervención. Es decir, se ajusta el cálculo de los p-values en función de la calidad de emparejamiento de la zona de pretratamiento de los placebos, obteniendo medidas “pseudo *t-statistic*” (Galiani and Quistorff 2017).

Se puede notar en la Tabla 11, en los años 2015 y 2016, que la probabilidad de que el impacto haya ocurrido por casualidad es del 7.7%, lo cual es una probabilidad relativamente baja, y se enmarca dentro de un intervalo de confianza del 90%, por lo que se puede decir que el efecto o impacto de la política analizada es estadísticamente significativo en los años 2015 y 2016.

Tabla 11. Cuantificación de impacto y p-value estandarizado

Año	Impacto en componente de la construcción del Valor Agregado Bruto per cápita (Miles de dólares)	p-values estandarizados
2014	0,0055045	0,8461538
2015	-0,1300665	0,0769231
2016	-0,1593213	0,0769231

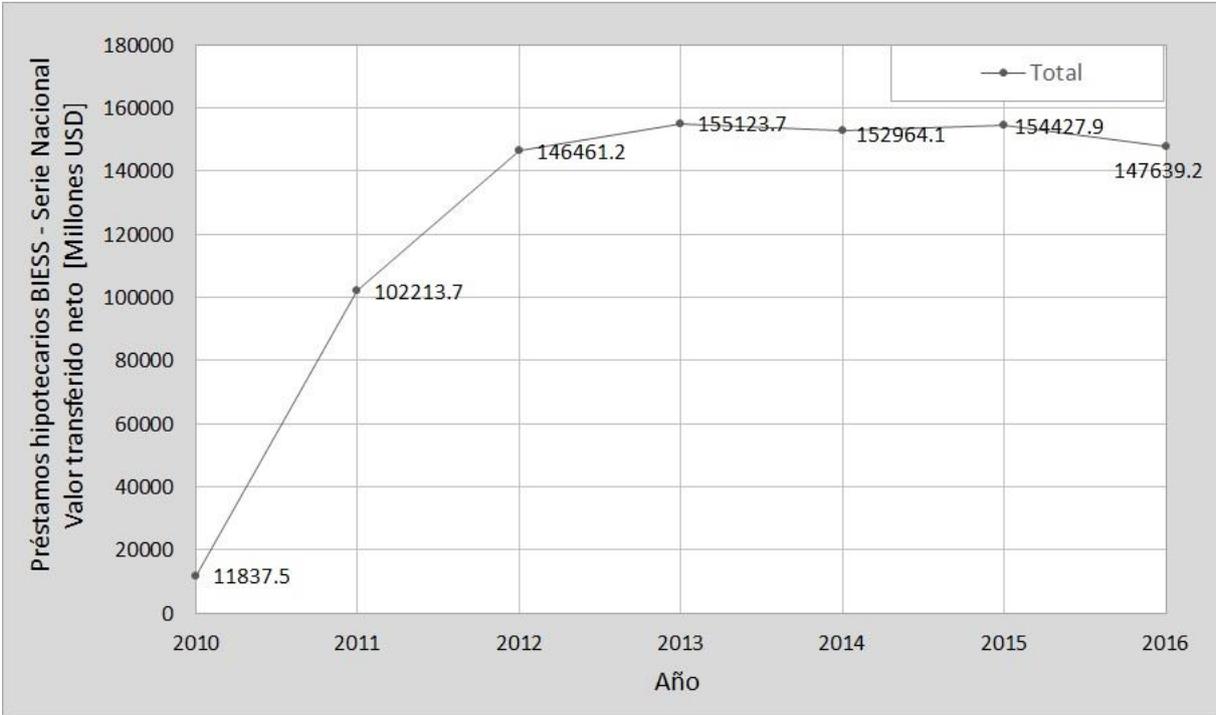
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Discusión

Un aspecto importante a considerar en el presente estudio, es que a partir del año 2010 en el Ecuador, el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social BIESS proporcionó a la población una gran cantidad de préstamos hipotecarios orientados a cubrir las necesidades de vivienda, los préstamos se encaminaron a los siguientes conceptos: vivienda terminada, construcción de vivienda, remodelación y ampliación, sustitución de hipoteca, terrenos y construcción, otros bienes inmuebles y vivienda hipotecada (BIESS 2018). Particularmente, es de interés para el presente estudio las tres siguientes categorías de préstamos: construcción

de vivienda, remodelación y ampliación, terrenos y construcción. Estas categorías de préstamo implican la gestión de permisos de construcción para nuevos proyectos por construirse.

Figura 4. Préstamos hipotecarios BIESS



Fuente: Reporte Estadístico BIESS; Nota: Sumatoria de categorías consideradas: Construcción de Vivienda, Remodelación y Ampliación, Terrenos y Construcción.

En esta línea de análisis y remitiéndose a los resultados del presente estudio, es pertinente destacar que la intervención considerada en el año 2014 (política de revisión obligatoria de planos estructurales) produjo una disminución directa de los permisos de construcción en el cantón Quito y un impacto estadísticamente significativo en la reducción del componente de la construcción del valor agregado bruto per cápita. Una potencial duda era que esta reducción pueda haberse debido a los préstamos del BIESS, pero esto está descartado de acuerdo a la trayectoria de los préstamos indicados de manera descriptiva en la Figura 7.

Adicionalmente, es procedente resaltar que el porcentaje de participación del BIESS en el mercado de créditos hipotecarios nacional inició en el año 2010 en un valor de 17%, llegando a mediados del año 2016 a un porcentaje del 64,1% (BIESS 2016), lo cual indica que si bien el BIESS ha llegado a representar una proporción muy grande de participación en el mercado hipotecario, por lo menos el 35% restante de créditos hipotecarios en el país son

administrados por otras instituciones, lo cual disminuye la probabilidad de que la caída de los préstamos hipotecarios del BIESS hayan ocasionado la caída en la variable principal tratada en el presente estudio, en todo caso, se recomienda que para futuros estudios se realice un análisis más profundo y específico de este tema en particular.

Conclusiones y recomendaciones

Ante la necesidad latente de fortalecer una legislación sísmica preventiva en Ecuador, la política de revisión obligatoria de los diseños sismo resistentes en Quito, representa una notable mejora de la calidad de las construcciones y un aporte sustancial para la disminución de la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura de la zona. De forma paralela, es necesario comprender que el tratamiento ocasionó una afectación en el sector de la construcción, ya que generó un efecto de disminución en el componente de la construcción del valor agregado bruto per cápita, en específico, dicha intervención generó impactos negativos estadísticamente significativos en los años 2015 y 2016, de respectivamente 130 y 159 dólares per cápita, en un intervalo de confianza del 90%.

Los aspectos mencionados, permiten ampliar el panorama de las implicaciones económicas que presentan este tipo de políticas preventivas, y pueden servir como insumo o herramienta para que los hacedores de política pública de vivienda cuenten con más elementos para analizar, cada cuánto tiempo y hasta dónde se debería incrementar el nivel de exigencia de una normativa sísmica, para que su impacto en el sector de la construcción no sea tan fuerte y pueda recuperarse en el menor tiempo posible.

Se debería considerar la implementación de una política de revisión similar, en más cantones del Ecuador, con el objetivo de fortalecer los procesos de carácter preventivo y reducir notablemente la vulnerabilidad de las construcciones ante amenazas sísmicas. En el sentido técnico y económico, puede ser preferible que la política de revisión golpee ligeramente al sector de la construcción en su aplicación inicial, pero a largo plazo, se incremente la calidad de la infraestructura, fortaleciendo el sector de la construcción al enmarcarlo en procesos que representen mayor confiabilidad para inversionistas y consumidores. En el sentido social y cultural, es fundamental que se tenga en cuenta los diversos matices que implica la implementación de una política de revisión de construcciones, al entender que existen particularidades territoriales en cada zona, como por ejemplo: dinámicas de socialización, técnicas de construcción específicas, conocimientos y saberes ancestrales, etc; Elementos que son fundamentales en la composición de una sociedad y que deben ser considerados en el diseño de cualquier política pública.

Con respecto al tema de actualizaciones normativas, es importante que se tome en cuenta la escala del incremento que deberían presentar las nuevas exigencias normativas respecto a las anteriores. Una buena referencia para esto es la dinámica normativa del presente caso de estudio. En este sentido, los periodos de tiempo planteados para la implementación de mejoras obligatorias en las normativas sísmicas, deberían considerarse en función de brindar un tiempo adecuado al sector económico de la construcción, para que se acople y recupere.

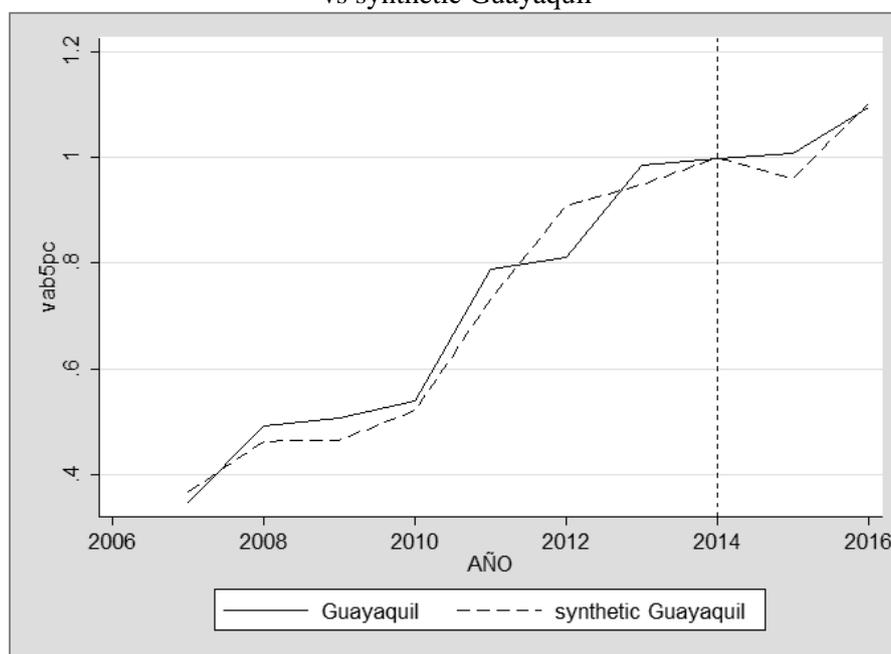
Es imprescindible que se fortalezca la legislación sísmica de carácter preventivo. Además, es importante que se complemente la información levantada en la encuesta anual de edificaciones del INEC, con información referente al estado post construcción, es decir, que se realice un amplio levantamiento de información referente a la calidad de la infraestructura construida, que refleje los elementos sustanciales del proceso constructivo en general.

Anexos

Anexo 1

Desde la figura 5 hasta la figura 18 se puede apreciar la conformación de grupos de control sintético, resultante de iteraciones en las que cada uno de los quince cantones es considerado como la unidad tratada, mientras el cantón Quito junto a los demás, pasa a formar parte de los catorce cantones que conforman el grupo de control. Se aprecia también, desde la tabla 12 hasta la tabla 25, los valores de la unidad tratada vs el grupo sintético respectivo.

Figura 5. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Guayaquil vs synthetic Guayaquil



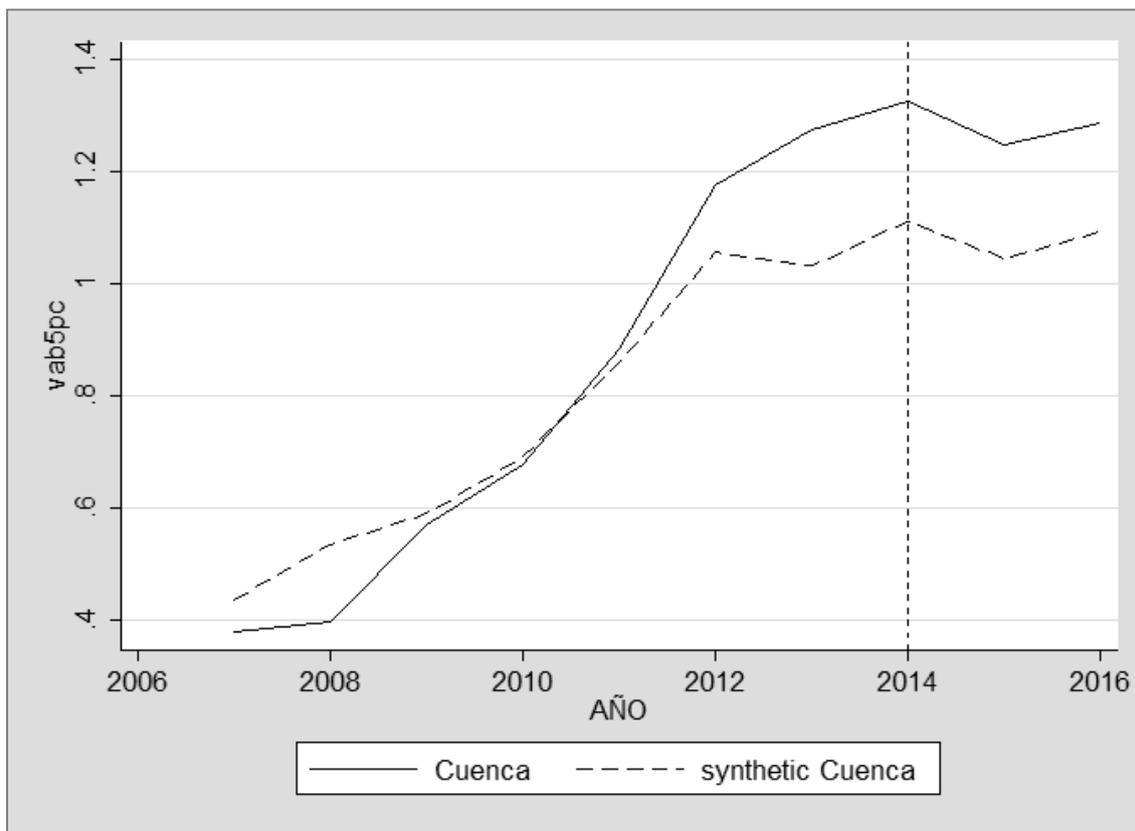
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico

Tabla 12– Valores de unidad tratada Guayaquil vs grupo sintético Guayaquil

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0014584	0.0030545
numdormitpc	0.0061113	0.0196133
prodpc	10.65482	10.64729
vab10pc	1.060018	0.9846247
numvivpc	0.0021722	0.0071191
matrmpp	0.0050486	0.0054439
nacitotalpc	0.0233562	0.0222949

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 6. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Cuenca vs synthetic Cuenca



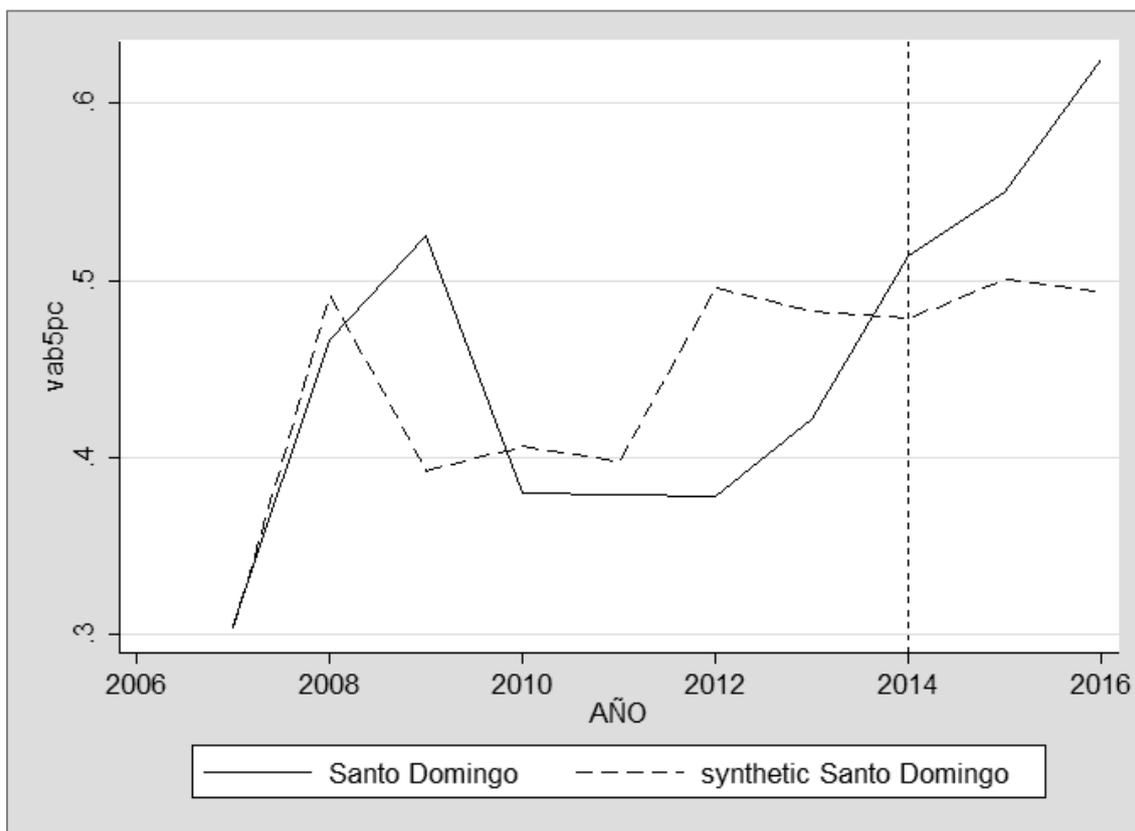
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 13– Valores de unidad tratada Cuenca vs grupo sintético Cuenca

Variables predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0050734	0.0050651
numdormitpc	0.0344035	0.0322813
prodpc	9.965007	9.96252
vab10pc	.6368471	1.125017
numvivpc	0.0117789	0.0113264
matrmpp	0.0067876	0.0065458
nacitotalpc	0.0212173	0.0226535

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 7. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Santo Domingo vs synthetic Santo Domingo



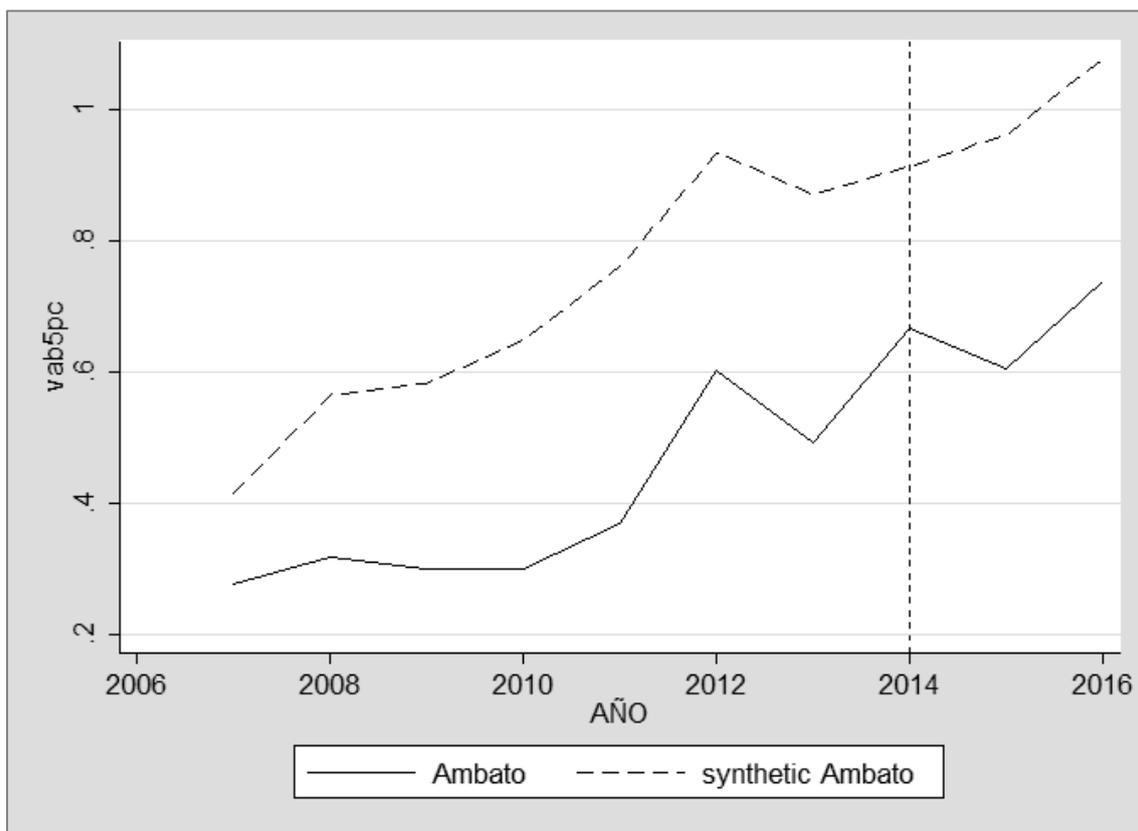
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 14– Valores de unidad tratada Santo Domingo vs grupo sintético Santo Domingo

Variables predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0019294	0.0019229
numdormitpc	0.0064899	0.0062864
prodpc	5.757844	6.971705
vab10pc	0.194349	0.1403295
numvivpc	0.0023073	0.0023156
matrmpp	0.0030216	0.0039828
nacitotalpc	0.0240495	0.0201481

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 8. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Ambato vs synthetic Ambato



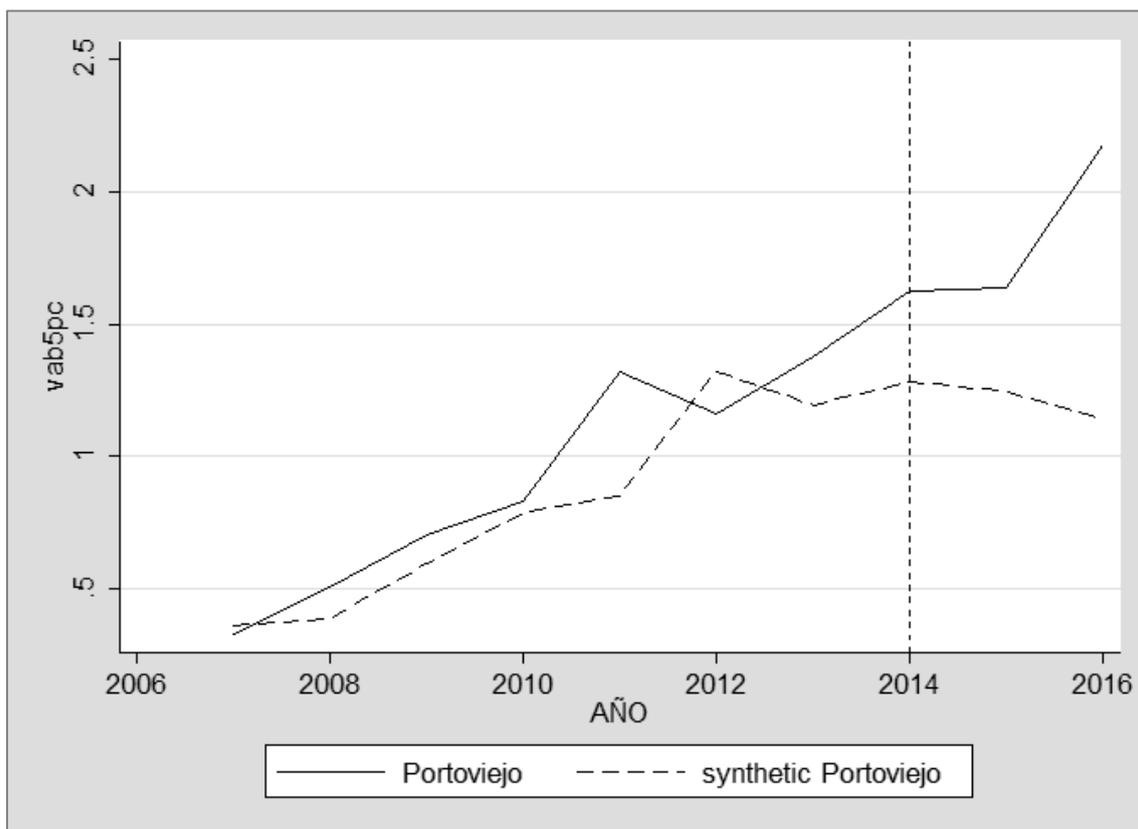
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 15– Valores de unidad tratada Ambato vs grupo sintético Ambato

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0040365	0.0041919
numdormitpc	0.0339213	0.0239163
prodpc	7.37982	7.675332
vab10pc	0.4735786	0.4398472
numvivpc	0.0112606	0.0081406
matrmpp	0.0064485	0.0063821
nacitotalpc	0.020012	0.0206014

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 9. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Portoviejo vs synthetic Portoviejo



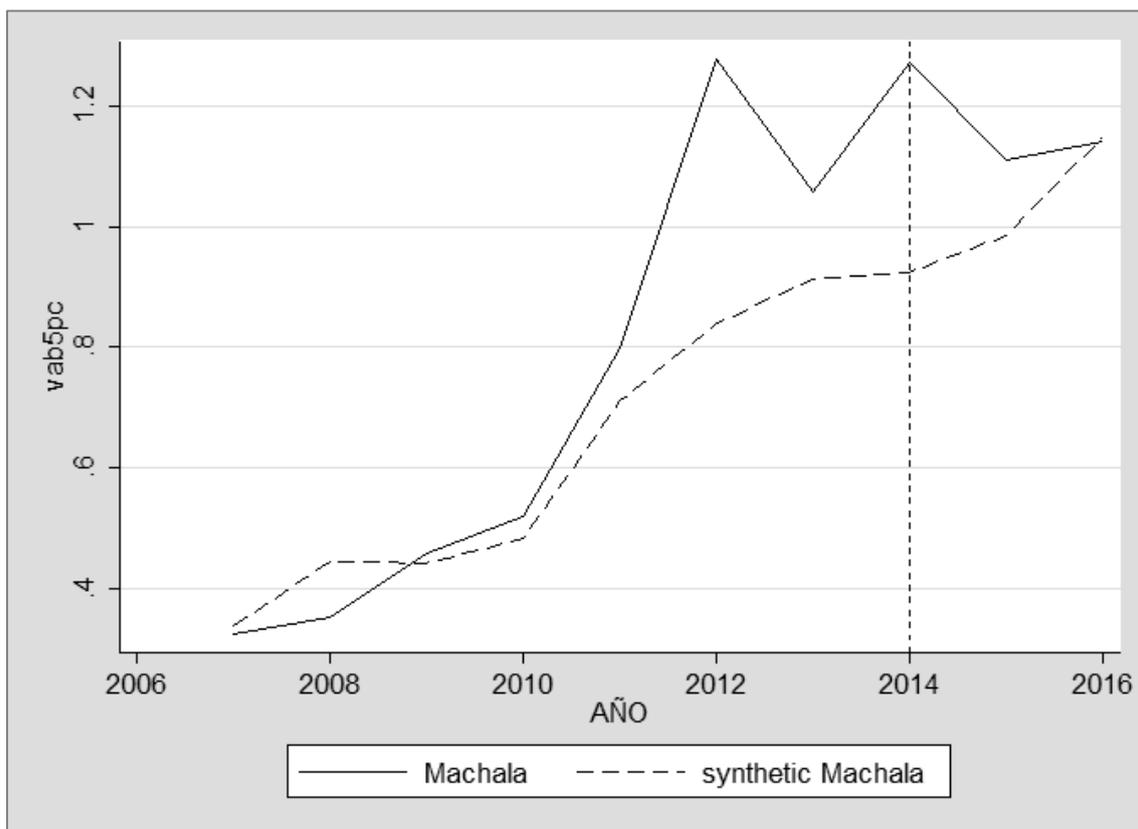
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 16– Valores de unidad tratada Portoviejo vs grupo sintético Portoviejo

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0030569	0.0062079
numdormitpc	0.0150224	0.0237854
prodpc	5.78582	6.6478
vab10pc	0.3404671	0.3813757
numvivpc	0.0082305	0.0082287
matrmpp	0.0040578	0.0057002
nacitotalpc	0.0207933	0.0234581

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 10. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Machala vs synthetic Machala



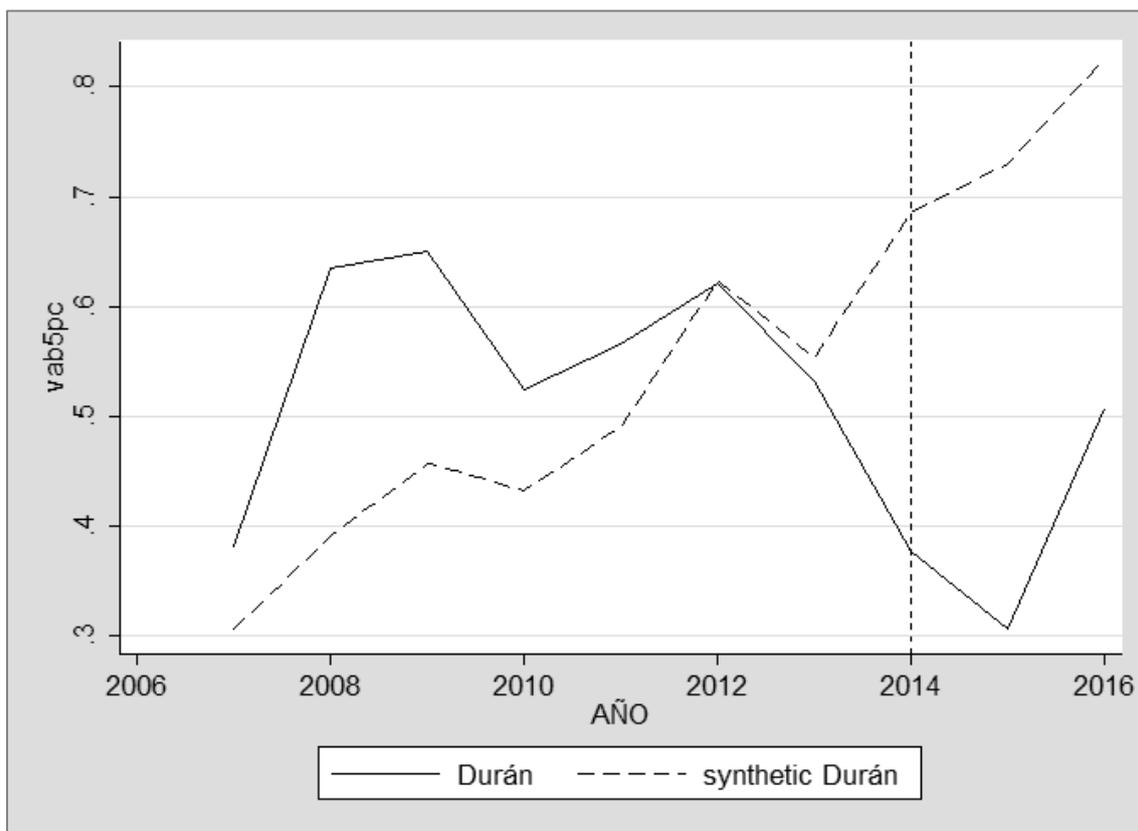
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 17– Valores de unidad tratada Machala vs grupo sintético Machala

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0015883	0.0015407
numdormitpc	0.006302	0.0062987
prodpc	7.446734	11.00363
vab10pc	0.3158644	0.737806
numvivpc	0.0021159	0.0021316
matrmpp	0.0045927	0.0045919
nacitotalpc	0.021763	0.0237055

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 11. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Durán vs synthetic Durán



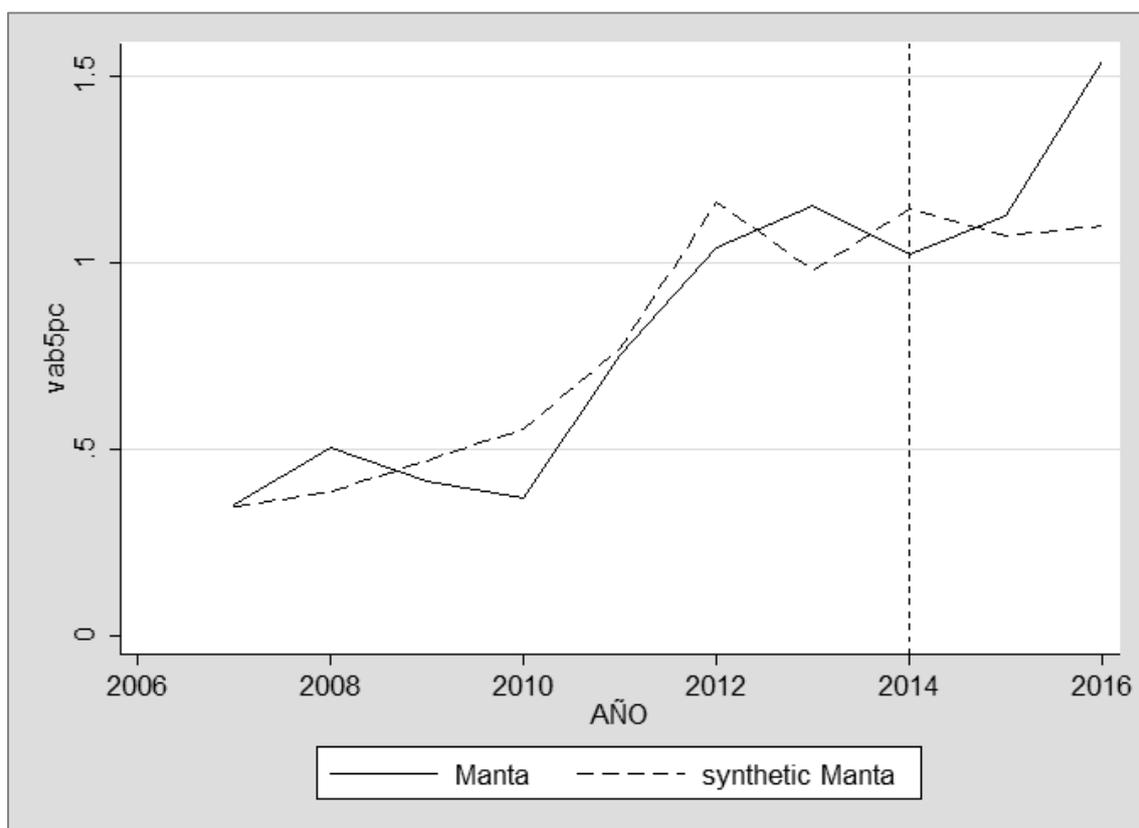
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 18– Valores de unidad tratada Durán vs grupo sintético Durán

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0019052	0.0015214
numdormitpc	0.0049005	0.0053142
prodpc	8.526489	8.347402
vab10pc	0.063536	0.2186012
numvivpc	0.0019733	0.0019743
matrmpp	0.0053286	0.0032827
nacitotalpc	0.0127182	0.023695

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 12. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Manta vs synthetic Manta



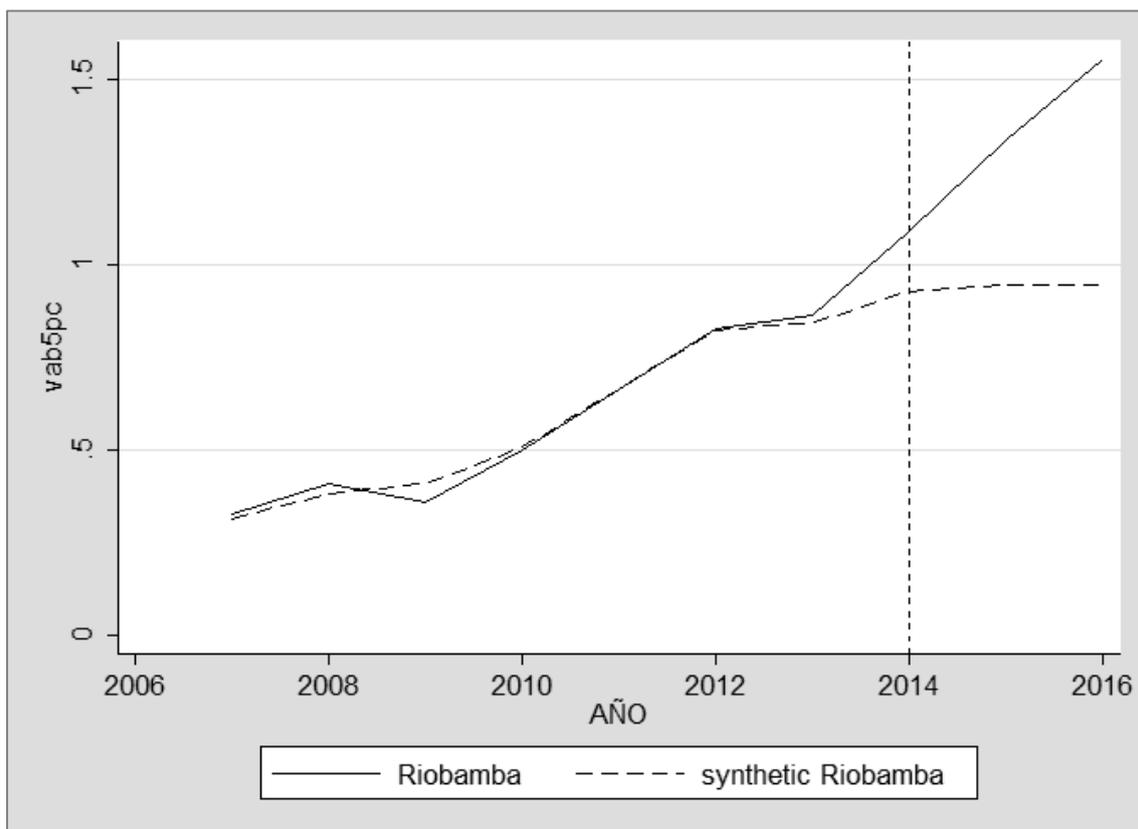
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 19– Valores de unidad tratada Manta vs grupo sintético Manta

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0027287	0.0023195
numdormitpc	0.0114519	0.0108037
prodpc	9.039928	8.339772
vab10pc	0.3984834	0.3978503
numvivpc	0.0035899	0.0035826
matrmpp	0.0048474	0.0048416
nacitotalpc	0.0241308	0.0227157

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 13. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Riobamba vs synthetic Riobamba



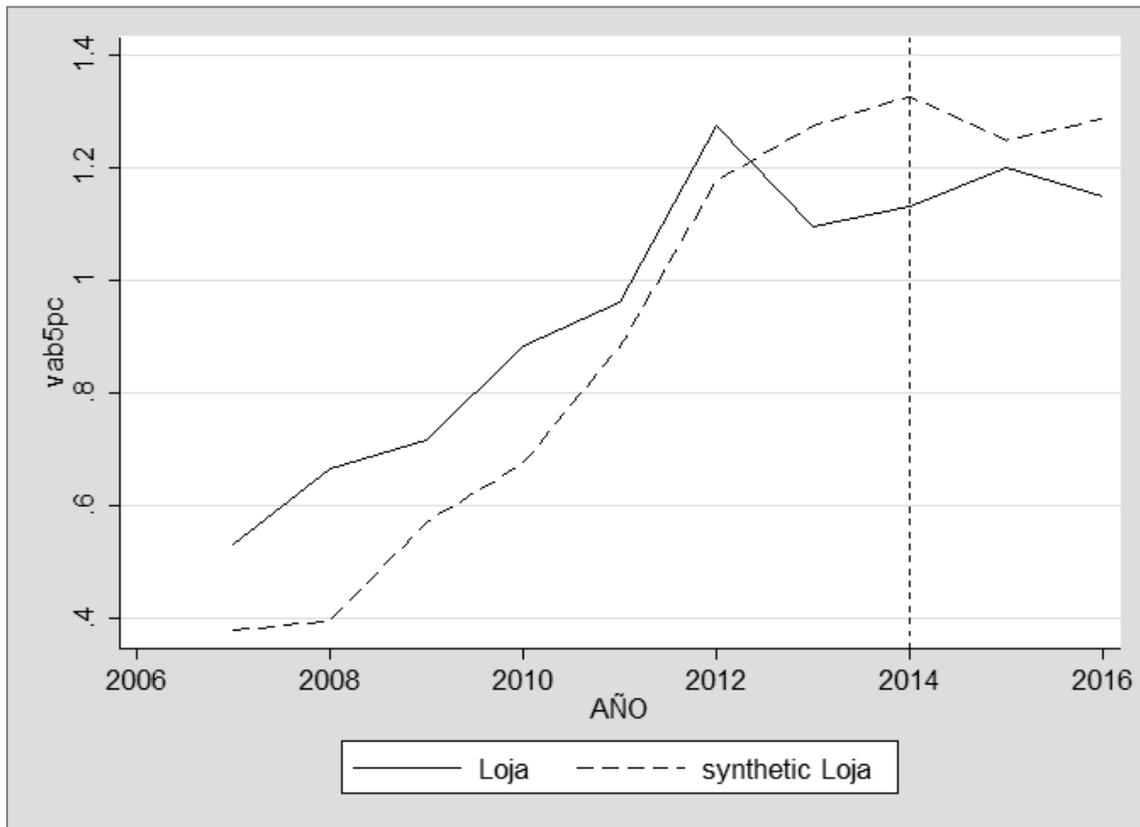
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 20– Valores de unidad tratada Riobamba vs grupo sintético Riobamba

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0019707	0.0025822
numdormitpc	0.0171747	0.0161522
prodpc	6.124687	9.838085
vab10pc	0.2259464	0.904272
numvivpc	0.0057646	0.0057596
matrmpp	0.0067054	0.0059189
nacitotalpc	0.0222382	0.0222333

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 14. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Loja vs synthetic Loja (sin módulo nested)



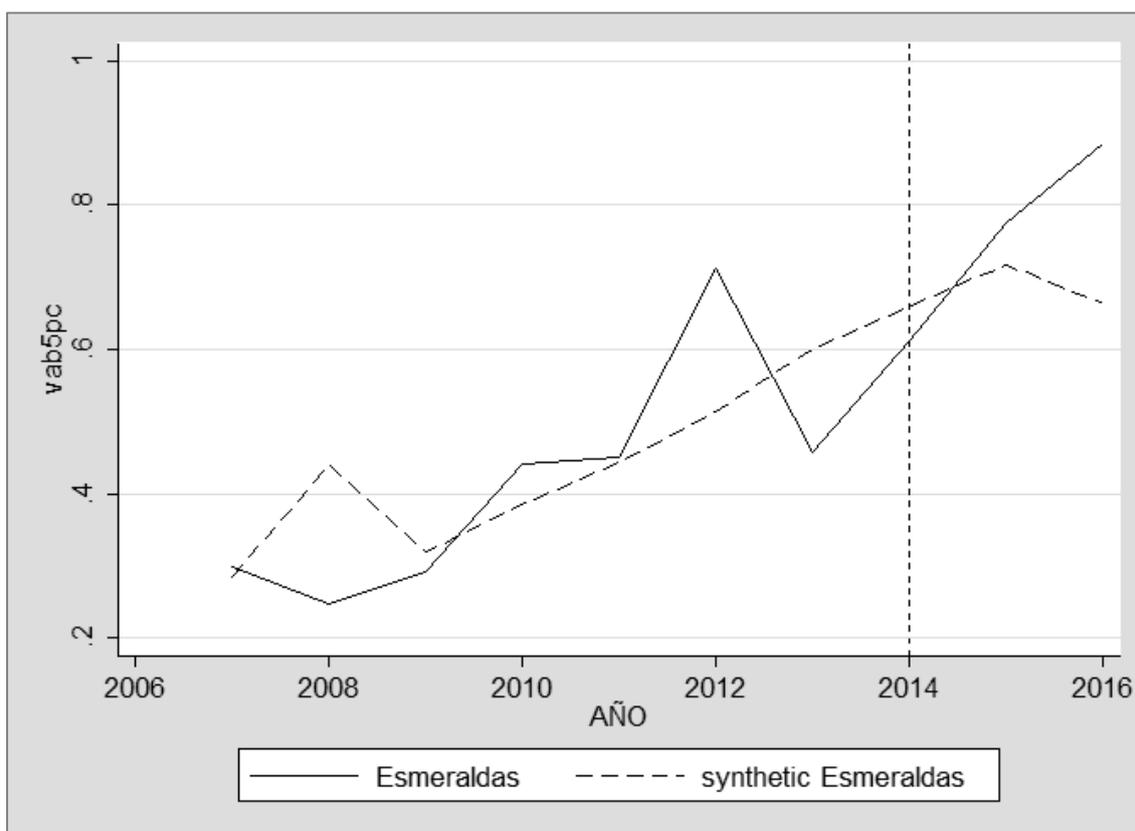
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 21– Valores de unidad tratada Loja vs grupo sintético Loja (sin módulo nested)

Variables predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0082671	0.0050734
numdormitpc	0.0455612	0.0344035
prodpc	6.722763	9.965007
vab10pc	0.5663268	0.6368471
numvivpc	0.0148444	0.0117789
matrmpp	0.0072093	0.0067876
nacitotalpc	0.0260114	0.0212173

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 15. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Esmeraldas vs synthetic Esmeraldas



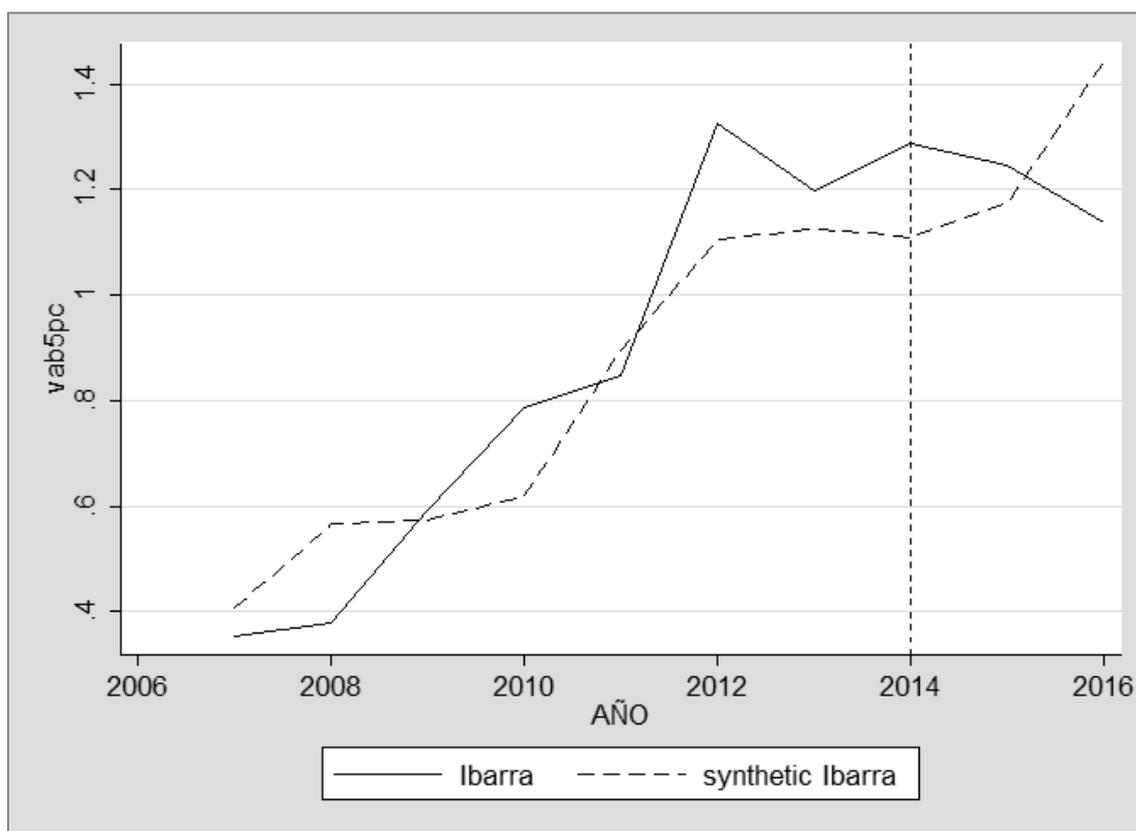
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 22– Valores de unidad tratada Esmeraldas vs grupo sintético Esmeraldas

Variables predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0005013	0.0015693
numdormitpc	0.0013174	0.0060118
prodpc	14.0727	7.628159
vab10pc	0.2023756	0.4760088
numvivpc	0.000461	0.0021415
matrmpp	0.0030467	0.0037284
nacitotalpc	0.0242248	0.0240894

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 16. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Ibarra vs synthetic Ibarra



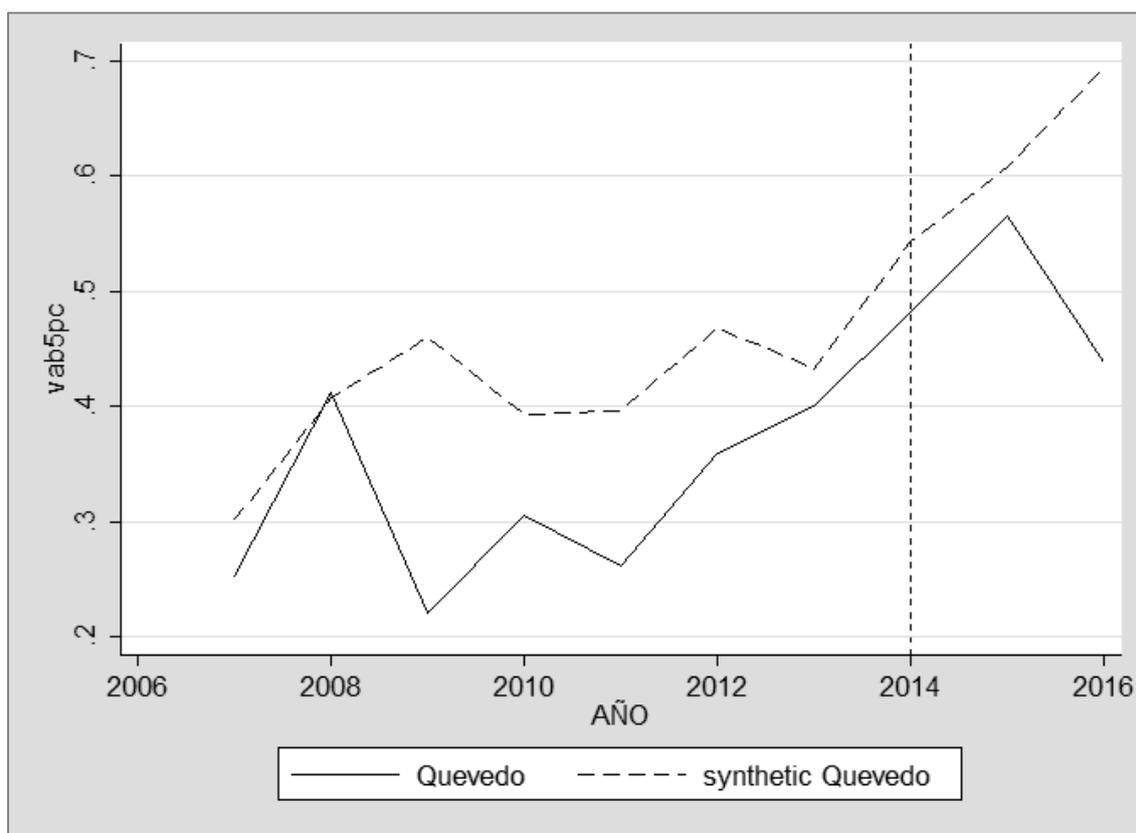
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 23– Valores de unidad tratada Ibarra vs grupo sintético Ibarra

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0061502	0.0045041
numdormitpc	0.0225199	0.0225251
prodpc	6.548403	7.74856
vab10pc	0.3658384	0.4200307
numvivpc	0.0078348	0.0078355
matrmpp	0.0056023	0.0055178
nacitotalpc	0.0234107	0.0234257

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 17. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Quevedo vs synthetic Quevedo



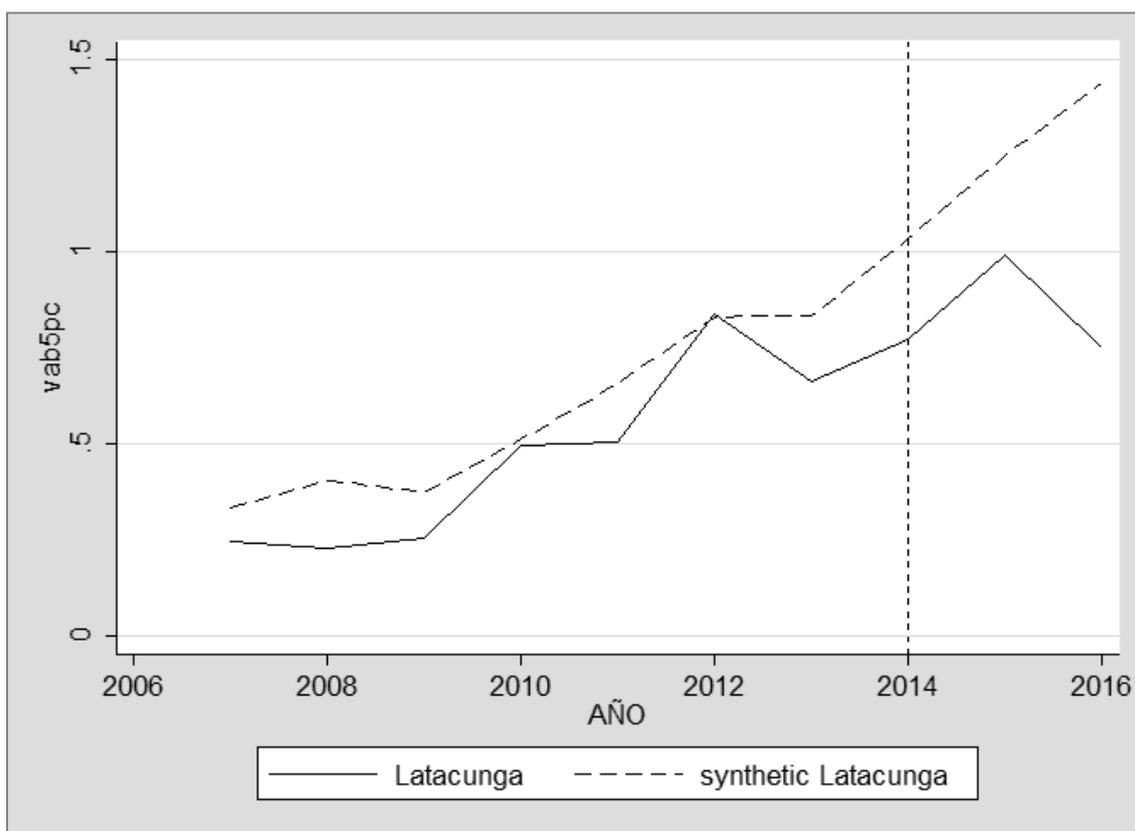
Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 24– Valores de unidad tratada Quevedo vs grupo sintético Quevedo

VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0016272	0.0016285
numdormitpc	0.0059599	0.0059545
prodpc	6.04803	7.898603
vab10pc	0.1711152	0.2041901
numvivpc	0.0021255	0.0020928
matrmpp	0.0030392	0.0031239
nacitotalpc	0.0244722	0.0239806

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Figura 18. Tendencia en el componente de construcción del valor agregado bruto per cápita: Latacunga vs synthetic Latacunga



Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Tabla 25– Valores de unidad tratada Latacunga vs grupo sintético Latacunga

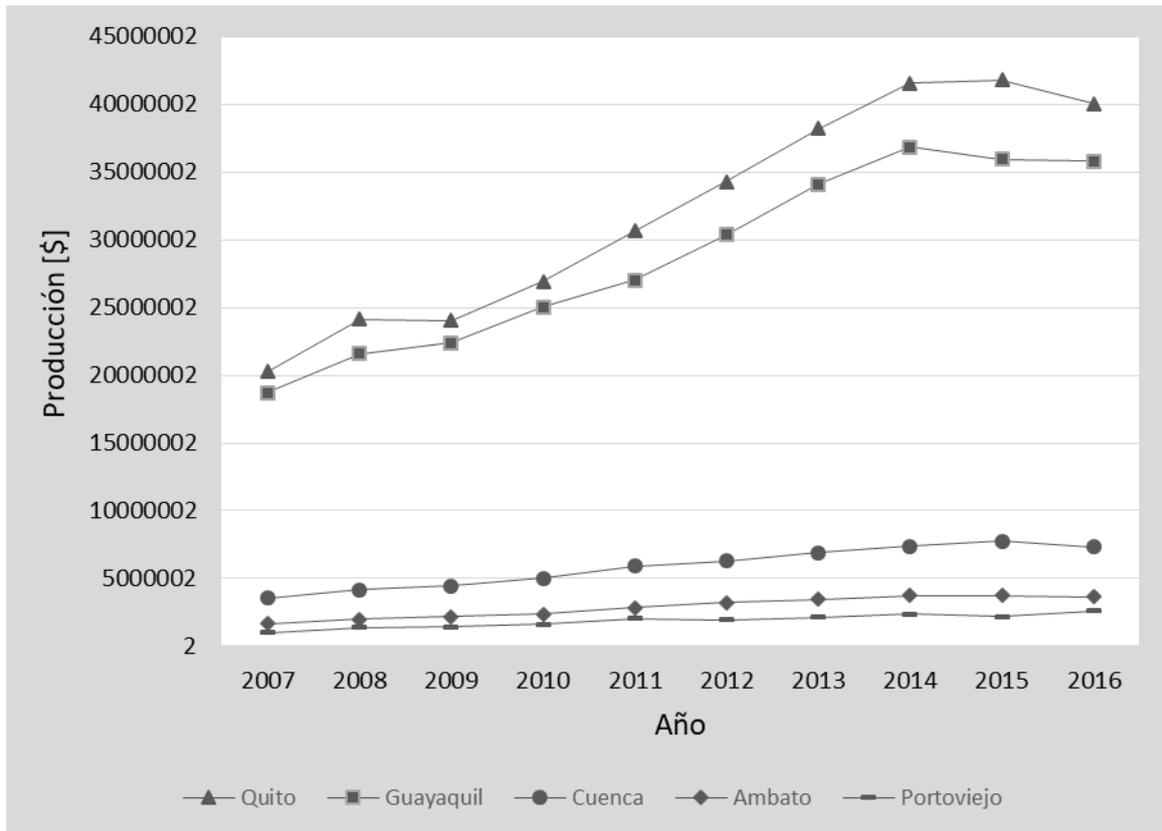
VARIABLES predictoras (per cápita)	Treated	Synthetic
permisospc	0.0032775	0.002047
numdormitpc	0.0162317	0.0160532
prodpc	7.343347	7.279648
vab10pc	0.2724331	0.2745241
numvivpc	0.0053665	0.0053764
matrmpp	0.0065996	0.0062261
nacitotalpc	0.0235976	0.0226821

Fuente: Datos obtenidos de modelo econométrico.

Anexo 2

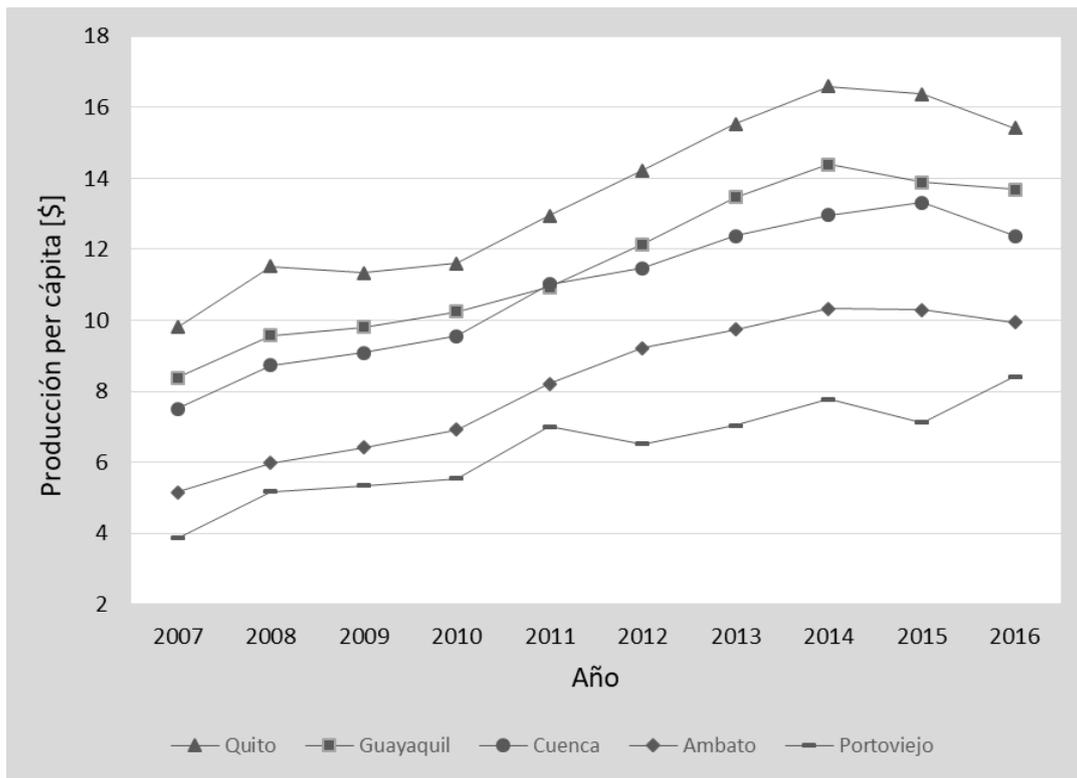
Desde la figura 19 hasta la figura 34 se visualizan los valores sin corrección por tamaño y posteriormente los valores per cápita, de Quito y los cuatro cantones que componen el grupo de control sintético en sus distintos porcentajes, en las diferentes variables predictoras y de tratamiento.

Figura 19. Producción en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



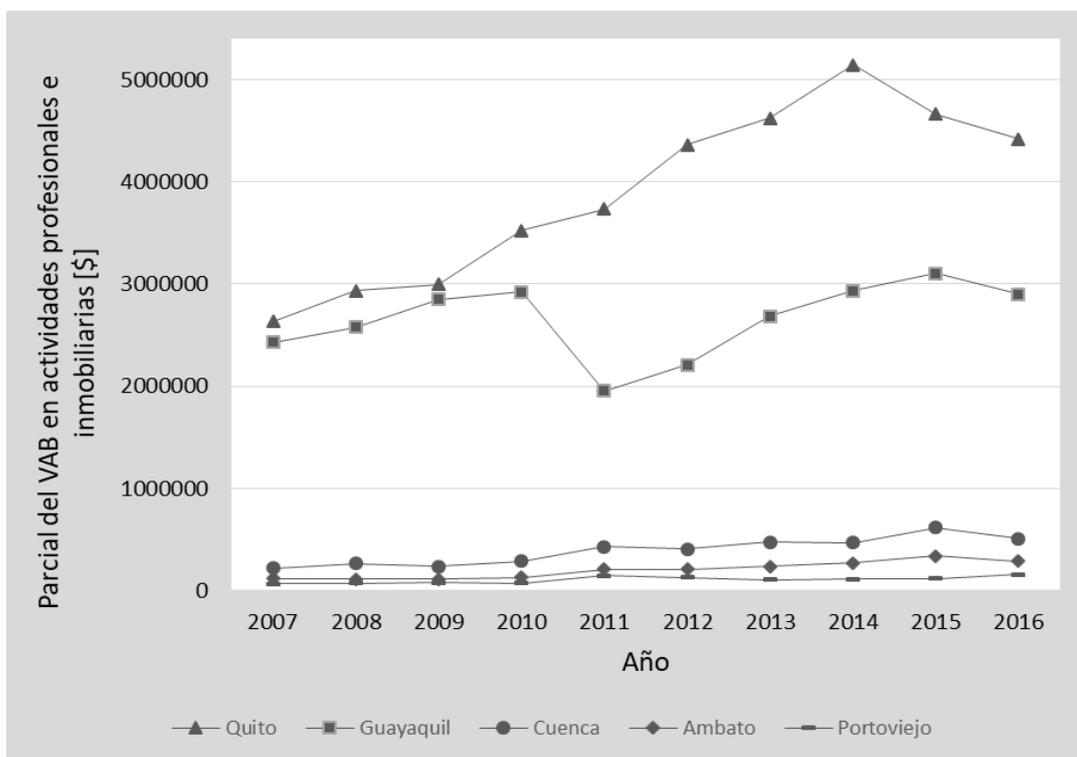
Fuente: BCE 2007-2016. Cuentas Cantonales.

Figura 20. Producción per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



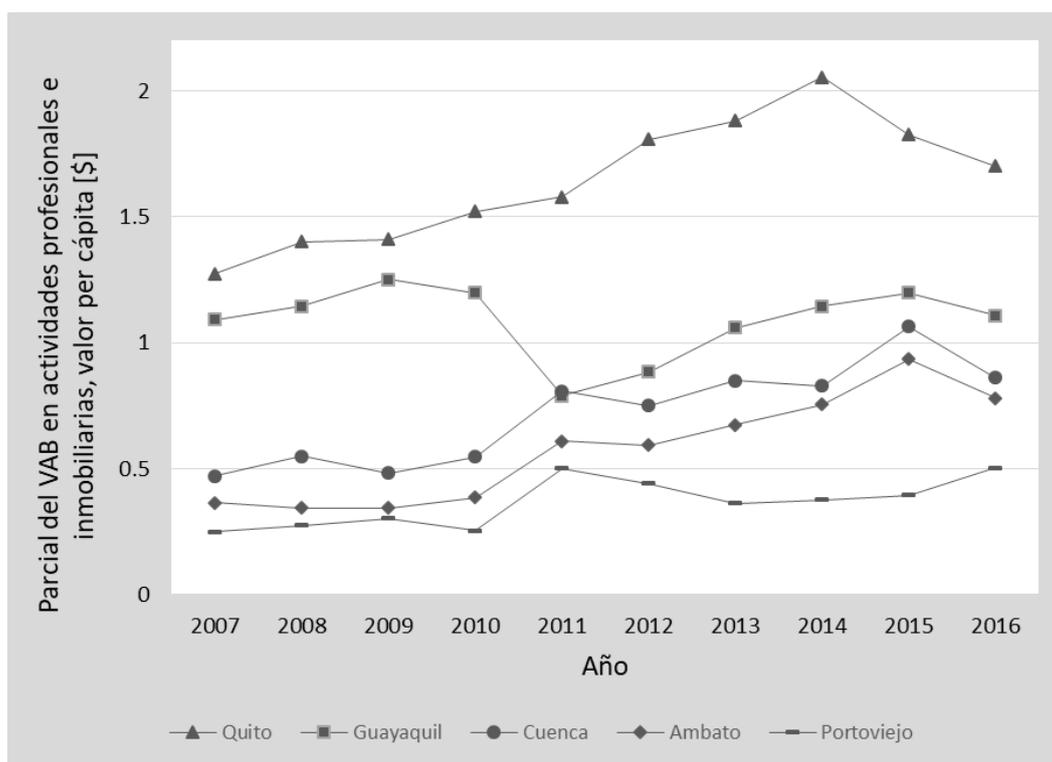
Fuente: BCE 2007-2016. Cuentas Cantonales.

Figura 21. Parcial del VAB en actividades profesionales e inmobiliarias en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



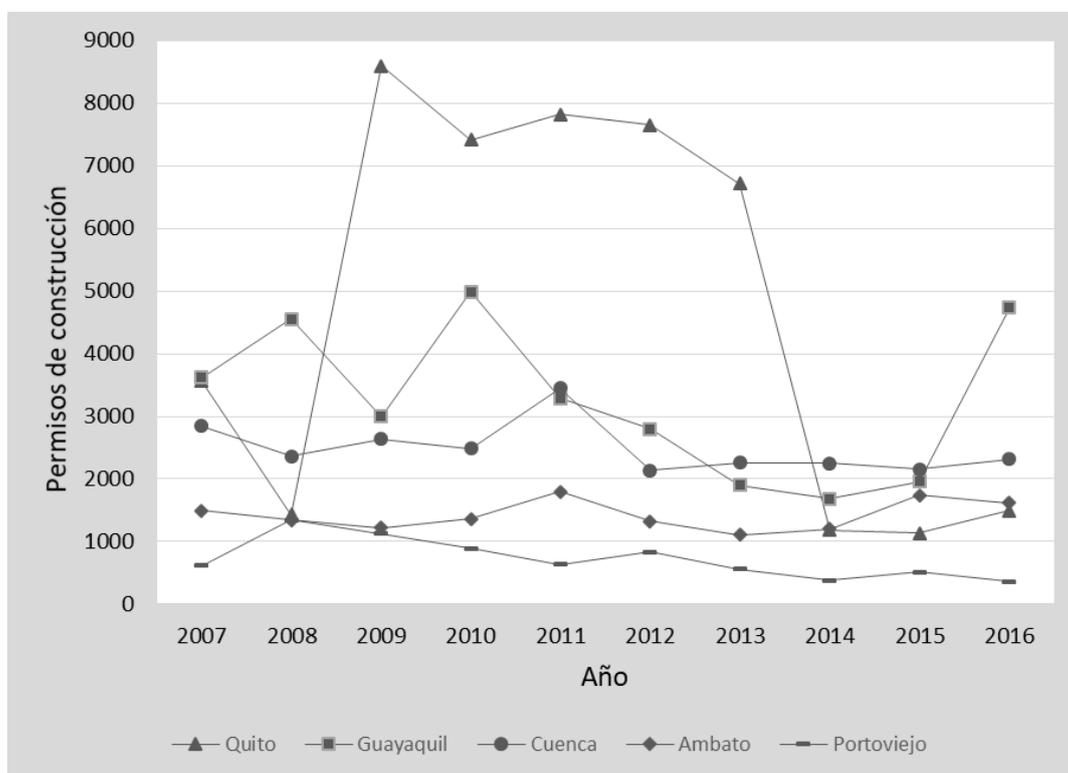
Fuente: BCE 2007-2016. Cuentas Cantonales.

Figura 22. Parcial del VAB en actividades profesionales e inmobiliarias, valores per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



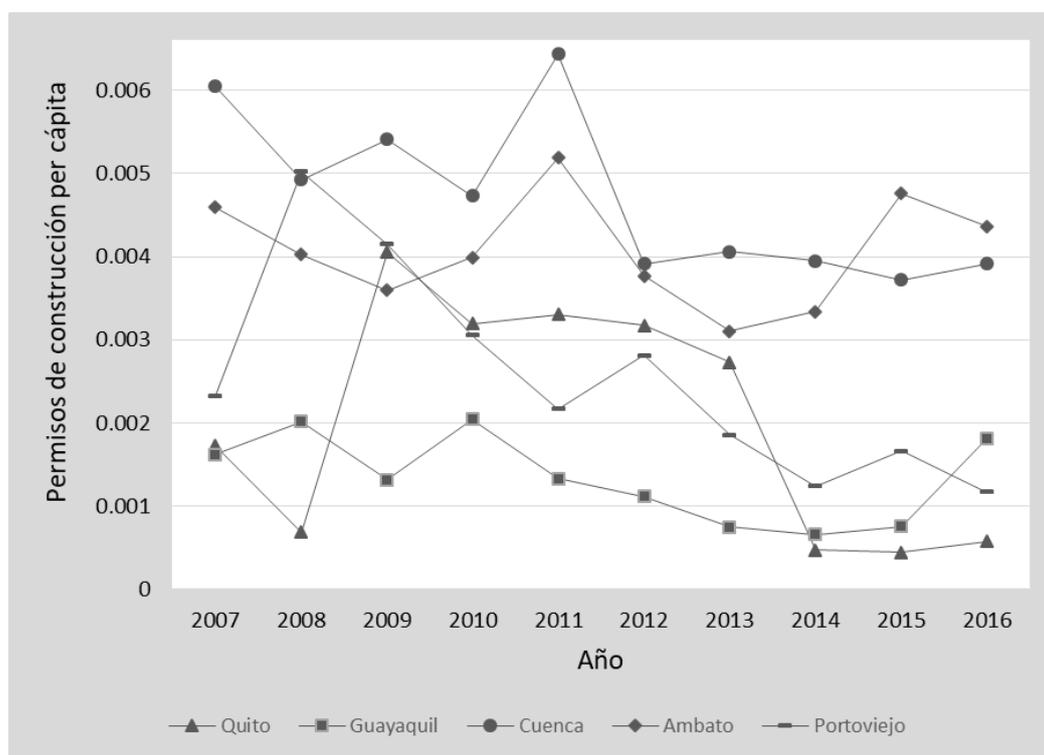
Fuente: BCE 2007-2016. Cuentas cantonales.

Figura 23. Permisos de construcción en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



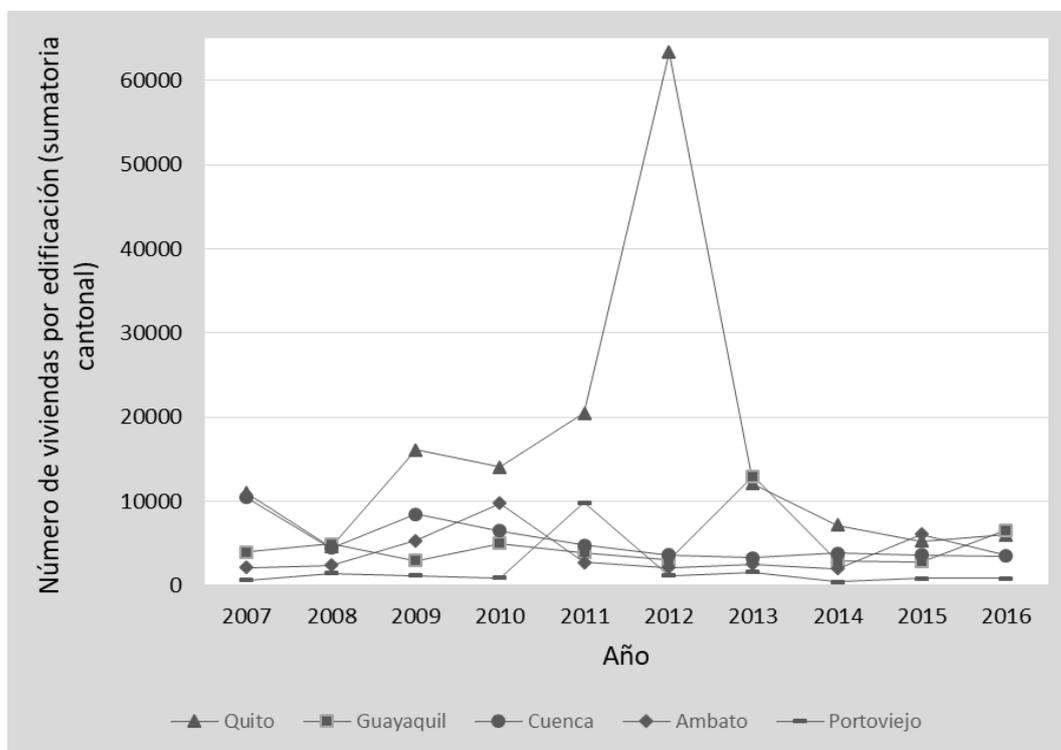
Fuente: INEC 2007-2016. Encuesta de edificaciones.

Figura 24. Permisos de construcción per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



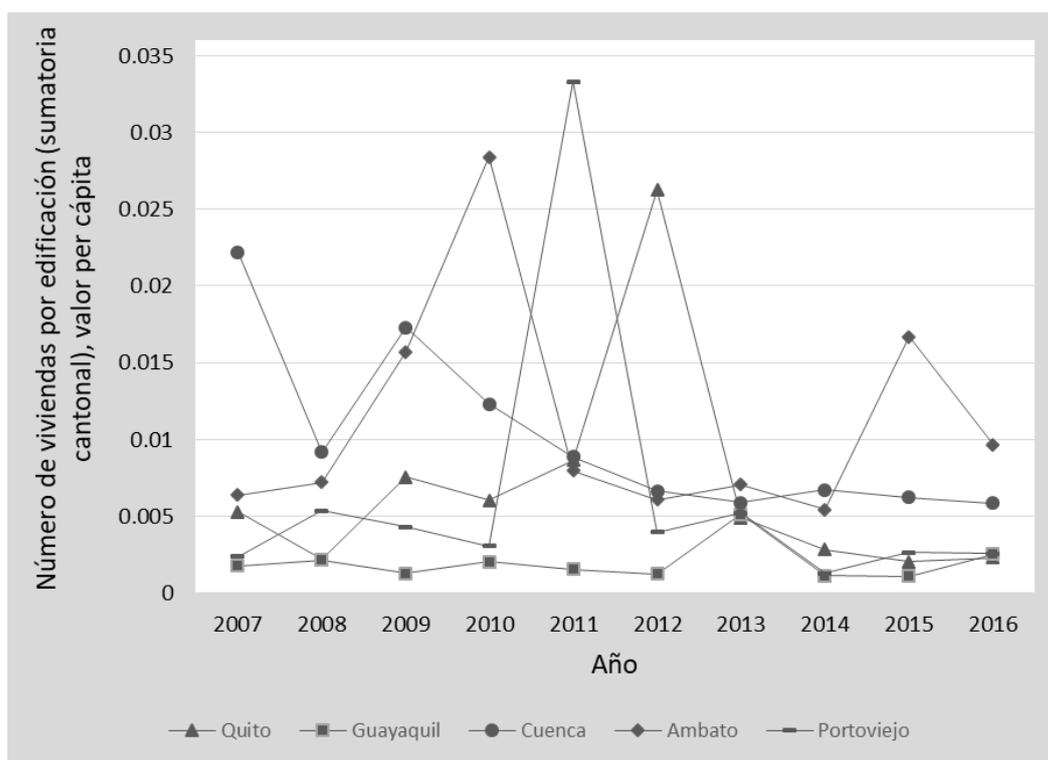
Fuente: INEC 2007-2016. Encuesta de edificaciones.

Figura 25. Número de viviendas por edificación en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



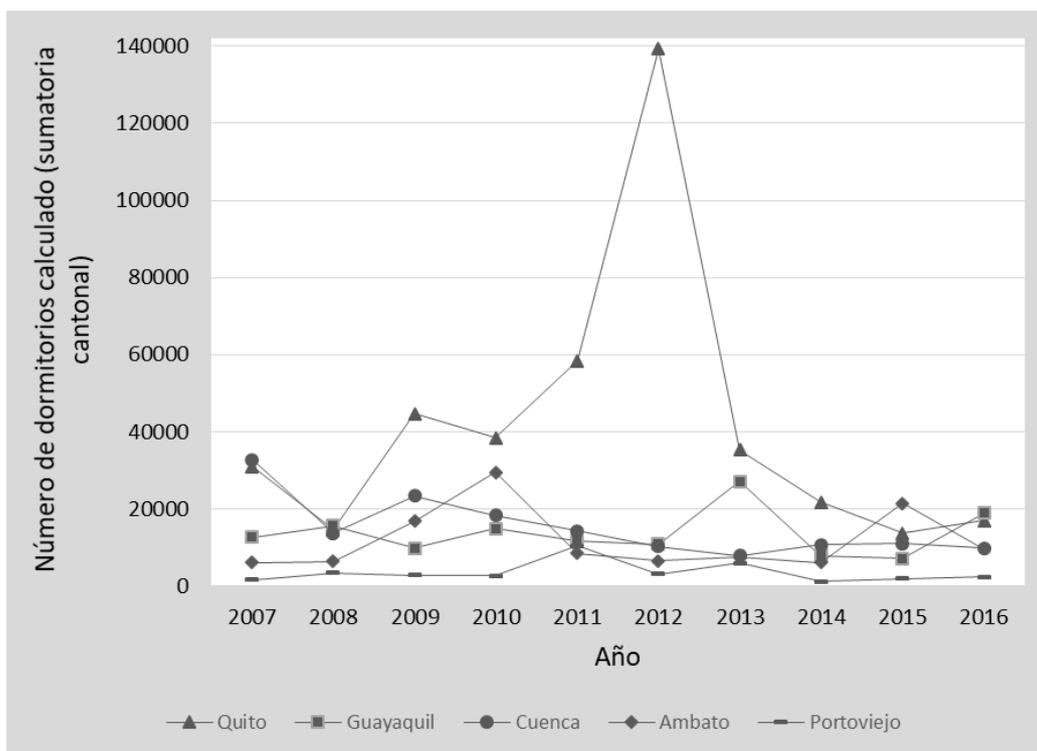
Fuente: INEC 2007-2016. Encuesta de edificaciones.

Figura 26. Número de viviendas per cápita por edificación en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



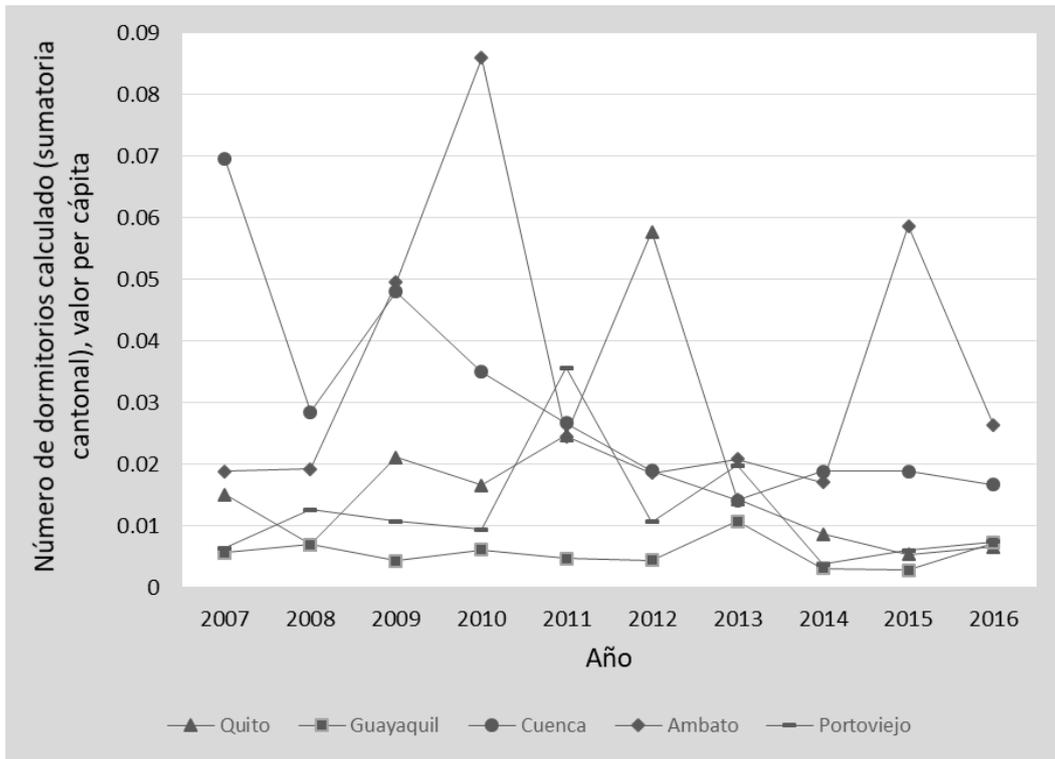
Fuente: INEC 2007-2016. Encuesta de edificaciones.

Figura 27. Número de dormitorios calculado en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



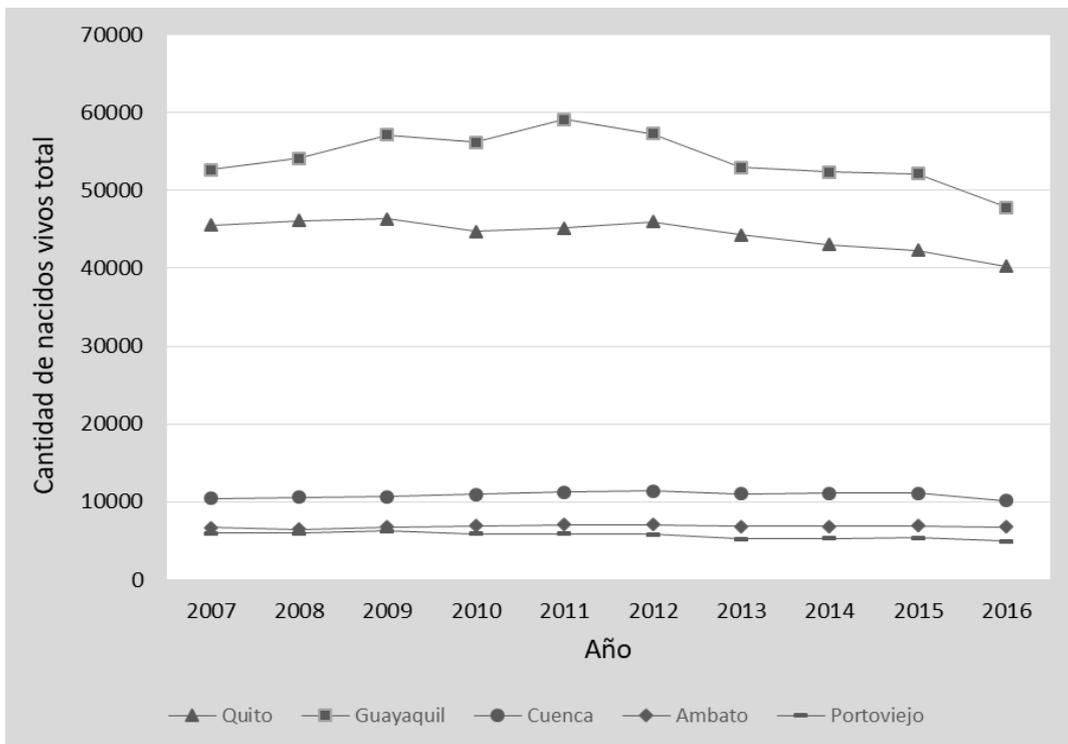
Fuente: INEC 2007-2016. Encuesta de edificaciones.

Figura 28. Número de dormitorios calculado per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



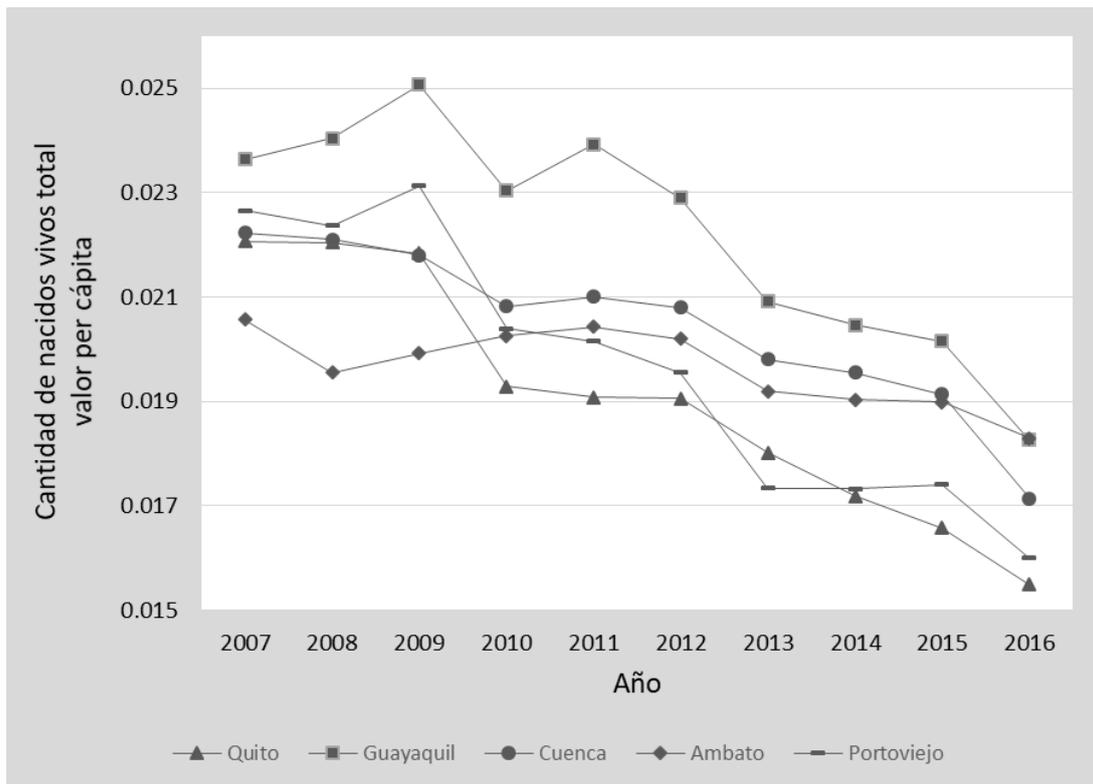
Fuente: INEC 2007-2016. Encuesta de edificaciones.

Figura 29. Cantidad total de nacidos vivos en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



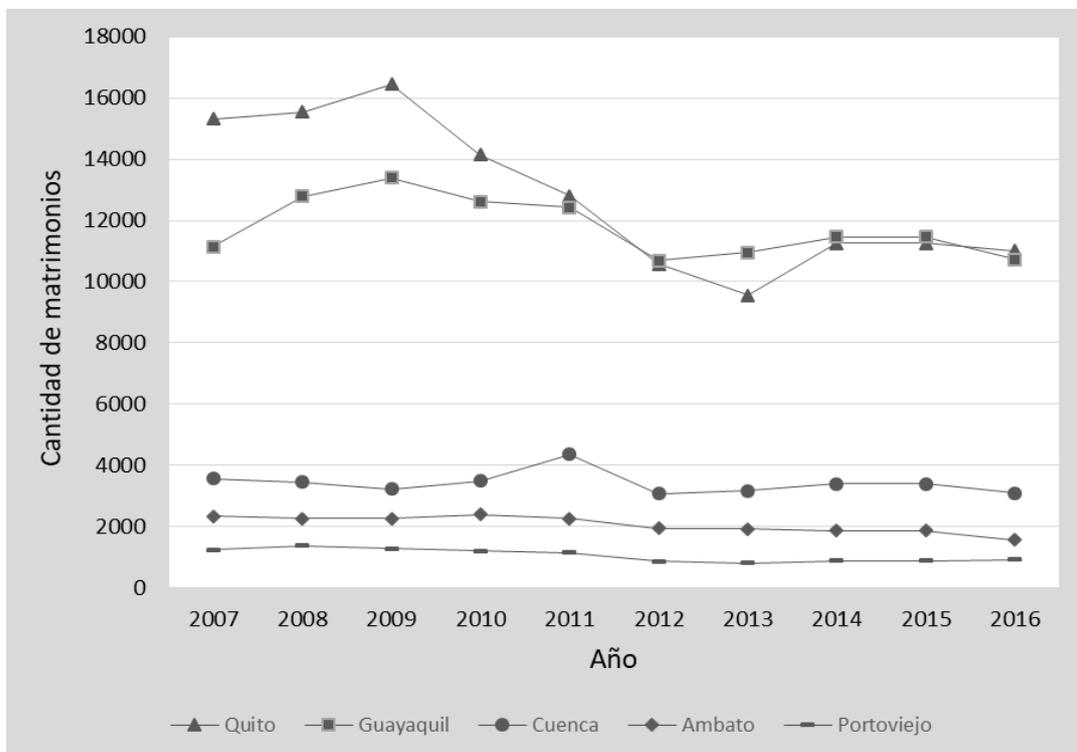
Fuente: INEC 2007-2016. Estadísticas de nacimientos y defunciones.

Figura 30. Cantidad total per cápita de nacidos vivos en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



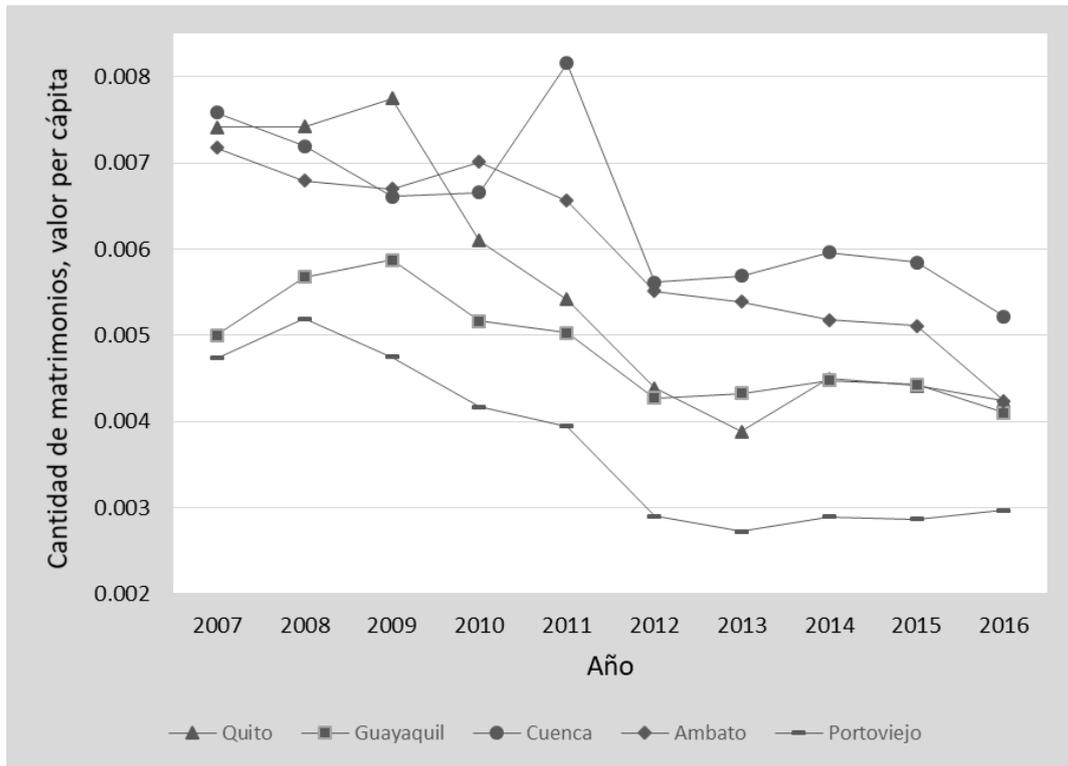
Fuente: INEC 2007-2016. Estadísticas de nacimientos y defunciones.

Figura 31. Cantidad de matrimonios en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



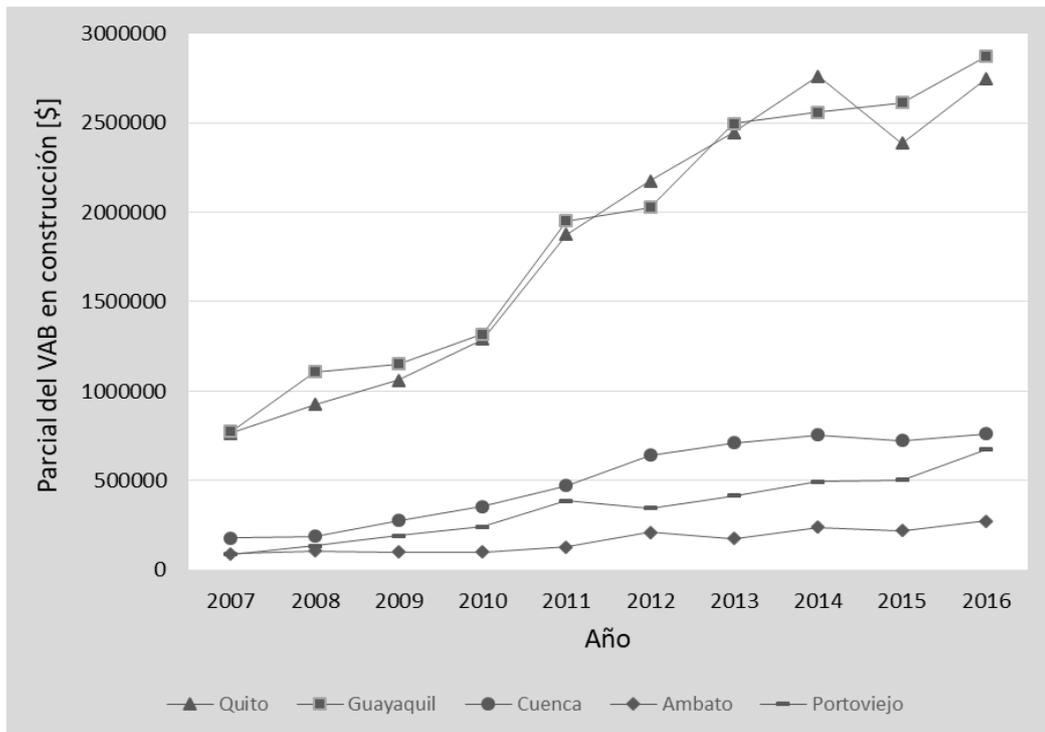
Fuente: INEC 2007-2016. Registro estadístico de matrimonios y divorcios.

Figura 32. Cantidad per cápita de matrimonios en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



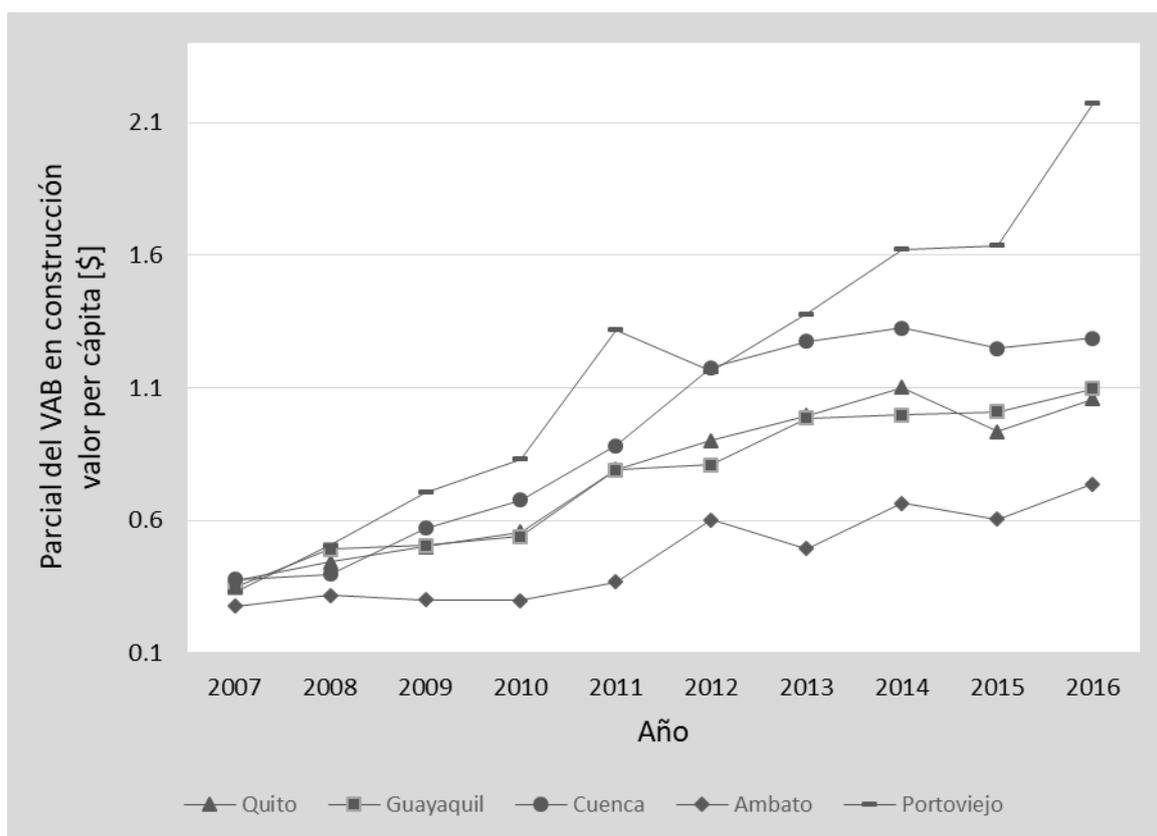
Fuente: INEC 2007-2016. Registro estadístico de matrimonios y divorcios.

Figura 33. Parcial del VAB en construcción en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



Fuente: BCE 2007-2016. Cuentas cantonales.

Figura 34. Parcial del VAB en construcción, valor per cápita en los cantones Quito, Guayaquil, Cuenca, Ambato y Portoviejo



Fuente: BCE 2007-2016. Cuentas cantonales.

Lista de referencias

- Abadie, Alberto, Alexis Diamond, and Jens Hainmueller. 2010. "Synthetic Control Methods for Comparative Case Studies: Estimating the Effect of California's Tobacco Control Program." *Journal of the American Statistical Association* 105 (490): 493–505. <https://doi.org/10.1198/jasa.2009.ap08746>.
- . 2011. "Synth: An R Package for Synthetic Control Methods in Comparative Case Studies." *Journal of Statistical Software* 42 (13): 1–17. <https://doi.org/10.18637/jss.v042.i13>.
- . 2012. "Comparative Politics and the Synthetic Control Method." *SSRN Electronic Journal* 105 (490): 495–510. <https://doi.org/10.2139/ssrn.1950298>.
- Athavale, Manoj, and Stephen M. Avila. 2011. "An Analysis of the Demand for Earthquake Insurance." *Risk Management and Insurance Review* 14 (2): 233–46. <https://doi.org/10.1111/j.1540-6296.2011.01205.x>.
- BCE. 2007-2016. Banco Central del Ecuador, Cuentas Cantonales (anuales) <https://www.bce.fin.ec/index.php/component/k2/item/293-cuentas-provinciales>
- Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social BIESS. "Reporte Estadístico". 2010-2018 <https://www.biess.fin.ec/files/ley-transparencia/reporte-estadistico/2018-09-REPORTE%20ESTAD%20C3%8DSTICO.pdf>
- Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social BIESS. "Biess en Cifras". Octubre 2010-Junio 2016
- Bárcena, Alicia, Antonio Prado, Laura López, and Jose Luis Samaniego. 2010. "Terremoto En Chile - Una Primera Mirada." *ECLAC Working Paper*, 61.
- Cardona, Omar D., Mario G. Ordaz, Mabel C. Marulanda, and Alex H. Barbat. 2008. "Estimation of Probabilistic Seismic Losses and the Public Economic Resilience - An Approach for a Macroeconomic Impact Evaluation." *Journal of Earthquake Engineering* 12 (SUPPL. 2): 60–70. <https://doi.org/10.1080/13632460802013511>.
- Cavaletto, Gilles. 2012. "El Terremoto de Haití 2010: Una Evaluación de La Respuesta Humanitaria. Coordinación, Financiamiento y Reconstrucción," 288. <http://www.tesis.uchile.cl/handle/2250/113054>.
- CEPAL. 2007. "Información para la gestión de riesgo de desastres. Estudios de caso de cinco países" Informe resumido. Repositorio Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL).

- https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/25846/2/LCmexL806spa_es.pdf
- Cisternas, Armando. 2011. “El País Más Sísmico Del Mundo.” *Revista Anales de La Universidad de Chile* Septima Se. <https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104>.
- Concejo Metropolitano de Quito, Ordenanza Metropolitana No. 433, 20 de Septiembre 2013, Disponible en:
http://www7.quito.gob.ec/mdmq_ordenanzas/Ordenanzas/ORDENANZAS%20MUNICIPALES%202013/ORDM%200433%20-%20REFORMA%20ORD.%20156%20-%20REGIMEN%20ADMINISTRATIVO%20DEL%20SUELO%20-%20LICENCIAS%20METROPOLITANAS%20URBANISTICAS.pdf
- Démurger, Sylvie. 2001. “Infrastructure Development and Economic Growth: An Explanation for Regional Disparities in China?” *Journal of Comparative Economics* 29 (1): 95–117. <https://doi.org/10.1006/jcec.2000.1693>.
- Duffy-Deno, Kevin T., and Randall W. Eberts. 1991. “Public Infrastructure and Regional Economic Development: A Simultaneous Equations Approach.” *Journal of Urban Economics* 30 (3): 329–43. [https://doi.org/10.1016/0094-1190\(91\)90053-A](https://doi.org/10.1016/0094-1190(91)90053-A).
- Esfahani, Hadi Salehi, and Mafa Teresa Ramírez. 2003. “Institutions, Infrastructure, and Economic Growth.” *Journal of Development Economics* 70 (2): 443–77. [https://doi.org/10.1016/S0304-3878\(02\)00105-0](https://doi.org/10.1016/S0304-3878(02)00105-0).
- Galiani, Sebastian, and Brian Quistorff. 2017. “The Synth _ Runner Package: Utilities to Automate Synthetic Control Estimation Using Synth.” *Stata Journal* 17 (4): 834–49. http://econweb.umd.edu/~galiani/files/synth_runner.pdf.
- Hopkins, David C, Mike Stannard, Graeme Lawrance, and Ian Brewer. 2008. “Strengthening Buildings for Earthquake Implementing New Zealand Legislation.” *14th World Conference on Earthquake Engineering*.
- INEC. (2007-2016). Encuesta de edificaciones. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. www.ecuadorencifras.gob.ec
- INEC. (2007-2016). Estadísticas de Nacimientos y Defunciones. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. www.ecuadorencifras.gob.ec
- INEC. (2007-2016). Registro Estadístico de Matrimonios y Divorcios. Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. www.ecuadorencifras.gob.ec
- INEC. 2017. “Reconstruyendo Las Cifras Luego Del Sismo” 1: 228. [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Memorias 13 abr 2017.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Bibliotecas/Libros/Memorias%2013%20abr%202017.pdf).
- INEC. 2014. “Anuario de Estadísticas de Edificaciones 2014.” *Inec*.

www.ecuadorencifras.gob.ec.

- Kalantari, Afshin. 2012. "Seismic Risk of Structures and the Economic Issues of Earthquakes." *InTech* 1: 3,4. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/50789>.
- Lafuente, M., Grases, J., & Genatios, C. (2014). Revisión de la normativa sísmica en América Latina. Geopolis;, Caracas: CAF. Retrieved from <http://scioteca.caf.com/handle/123456789/897>
- Leyton, Felipe, Sergio Ruiz, and Sergio A. Sepúlveda. 2010. "Reevaluación de Peligro Sísmico Pobabilistico En Chile Central." *Andean Geology*.
- Martin, Philippe, Carol Ann Rogers, Philippe Martina, and Carol Ann Rogersc. 1995. "Industrial Location and Public Infrastructure." *Journal of International Economics* 39 (3–4): 335–51. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0022-1996\(95\)01376-6](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0022-1996(95)01376-6).
- Maslow, Abraham H. (1943): A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50, 370-396.
- Murota Tatsuo. (1995). Concepto de la regulación del diseño sísmico de construcciones en Japón. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). <http://www.eird.org/cd/building-codes/pdf/spa/doc6526/doc6526.htm>
- Naoi, Michio, Miki Seko, and Kazuto Sumita. 2009. "Earthquake Risk and Housing Prices in Japan: Evidence before and after Massive Earthquakes." *Regional Science and Urban Economics* 39 (6): 658–69. <https://doi.org/10.1016/j.regsciurbeco.2009.08.002>.
- Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015. CAMICON, and MIDUVI. 2014. Norma Ecuatoriana de La Construcción - NEC: NEC-SE-DS - Peligro Sísmico/Diseño Sismo Resistente. <https://doi.org/10.4067/S0717-69962013000200001>.
- Saragoni, Rodolfo. 2011. "El Mega Terremoto Del Maule de 2010: Una Lección de Buena Ingeniería, Pero Con Sorpresas y Nuevos Desafios." *Anales de La Universidad de Chile* 0 (1): 35–56.