



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

**FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA EN RECURSOS NATURALES
RENOVABLES**

**EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN
CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES; CASO DE
ESTUDIO CONJUNTO RESIDENCIAL EL OLAM-IBARRA, ECUADOR.**

**PLAN DE TRABAJO DE TITULACIÓN PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

AUTOR:

SANTIAGO ISAAC FLORES ARMAS

DIRECTORA:

ING. ELEONORA MELISSA LAYANA BAJAÑA, MSc.

Ibarra-Ecuador

2020



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|-----------------------------|-----------|------------------------------------|-----------------------------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | DE | 1003163738 | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Y | Flores Armas Santiago Isaac | |
| DIRECCIÓN: | | Lucila Benalcazar 3-78 (Yacucalle) | |
| EMAIL: | | sifloresa@utn.edu.ec | |
| TELÉFONO FIJO: | | 062585800 | TELÉFONO MÓVIL: 0987877588 |

| DATOS DE LA OBRA | |
|--------------------------------|--|
| TÍTULO: | EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES; CASO DE ESTUDIO CONJUNTO RESIDENCIAL EL OLAM-IBARRA, ECUADOR. |
| AUTOR : | Santiago Isaac Flores Armas |
| FECHA: DD/MM/AAAA | 30-03-2021 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | <input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniero en Recursos Naturales Renobavles |
| ASESOR /DIRECTOR: | Ing. Eleonora Layana MSc |



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

2. CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte terceros.

Ibarra, a los 30 días del mes de Marzo de 2021

EL AUTOR:

.....
Santiago Isaac Flores Armas



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN

A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

CERTIFICACION

Ing. Eleonora Layana MSc, directora del trabajo de grado de titulación desarrollado por el señor estudiantes Santiago Isaac Flores Armas.

CERTIFICA

Que, el proyecto de tesis de grado titulado “EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES; CASO DE ESTUDIO CONJUNTO RESIDENCIAL EL OLAM-IBARRA, ECUADOR” ha sido realizado en su totalidad por el señor Santiago Isaac Flores Armas, bajo mi dirección, para la obtención del título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Luego de ser revisada, considerando que se encuentra concluido y cumple con las exigencias y requisitos académicos de la facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales y Carrera de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables, autoría su presentación y defensa para que pueda ser juzgada por el tribunal correspondiente.

.....
Ing. Eleonora Melissa Layana Bajaan MSc.
DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

AGRADECIMIENTO

De manera especial eterna gratitud, a la Divinidad, que cada día a estado proveyendo de Vida y energía para poder salir adelante, además de la sabiduría y la paciencia que han sido puntal clave en la búsqueda de este objetivo.

Gracias a mis padres, que día a día desde el uso de mí existencia, han sido mis motivadores de vida con amor y apoyo, facilitándome todo para obtener cada éxito y felicidad en mis días, como el logro de este título profesional.

Las gracias no alcanzarían a quien ha sido parte fundamental en este proceso de investigación en la persona de la Ing. Melissa Layana Msc, directora del trabajo de grado, que siempre ha estado para impartir y guiar con sus conocimientos.

A mis estimados asesores, Ing. Jorge Granja Msc e Ing. Santiago Cabrera Msc, que con sus sugerencias y sus valiosas opiniones han dado forma a este proyecto de investigación.

Santiago Flores

DEDICATORIA

A Dios que con su divinidad me ha dado la oportunidad de llegar hasta este momento de éxito.

De manera especial y muy sentida este triunfo es dedicado a José y Nancy, mis amados padres, que con su lema... que toda dedicación y sacrificio tenga su resultado final confiaron y apoyaron la presente realización profesional.

A mis entrañables hijos JoseMa y Ma.Gracia, ser su padre me extendió la necesidad de ser su ejemplo de superación y dejarles un legado de perseverancia y trabajo por los sueños.

A mis queridos hermanos: Juan, Jeaneth y Stefany que han sido mentores en mi trayectoria de vida y de manera especial la motivación en lo académico

A mis estimados amigos que siempre estuvieron con una palabra o gesto de apoyo, en este camino de ilusión y dedicación, este es un esfuerzo dedicado a su preocupación.

Con Cariño, Santiago Flores

ÍNDICE DE CONTENIDO

| | |
|--|----|
| ÍNDICE DE CONTENIDO..... | 7 |
| CAPÍTULO I..... | 13 |
| 1.1. Revisión de antecedentes o Estado del Arte..... | 13 |
| 1.2. Problema de Investigación y Justificación | 17 |
| 1.3. Objetivos | 21 |
| 1.3.1. Objetivo general | 21 |
| 1.3.2. Objetivos Específicos | 21 |
| 1.4. Pregunta directriz de la investigación..... | 21 |
| CAPÍTULO II | 22 |
| 2. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 22 |
| 2.1. Marco teórico referencial | 22 |
| 2.2. Marco legal..... | 31 |
| 2.2.1. Constitución de la República del Ecuador | 31 |
| 2.2.2. Tratados internacionales..... | 31 |
| 2.2.3. Código Orgánico del Ambiente..... | 31 |
| 2.2.4. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización | 32 |
| 2.2.5. Acuerdos Ministeriales..... | 32 |
| 2.2.6. Ordenanzas Municipales del Cantón Ibarra | 33 |
| • Ordenanza Reformatoria a la Ordenanza de Creación de la Empresa Pública Municipal para el Aprovechamiento e Industrialización de Residuos Sólidos, Materiales Áridos y Pétreos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, AISAP-EP..... | 33 |
| 2.2.7. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1855-1 para la fabricación del Hormigón | 34 |
| CAPÍTULO III..... | 35 |

| | | |
|---------|---|----|
| 3. | METODOLOGÍA | 35 |
| 3.1. | Descripción del área de estudio..... | 35 |
| 3.1.1. | Componente biofísico..... | 36 |
| 3.2. | Métodos | 38 |
| 3.2.1 | Etapa I, Establecimiento del impacto de los materiales y productos básicos de la elaboración del hormigón en la sustentabilidad ambiental de la construcción de viviendas del conjunto residencial El Olam..... | 38 |
| 3.2.2 | Etapa 2 Establecimiento del impacto relacionado al proceso constructivo, en la construcción de viviendas en el conjunto residencial El Olam..... | 41 |
| 3.2.2.1 | Cálculo del Índice del Proceso Constructivo | 41 |
| 3.2.3 | Etapa 3 Elaboración del Plan de Sostenibilidad..... | 44 |
| | CAPÍTULO IV..... | 48 |
| 4. | RESULTADOS | 48 |
| 4.1. | Identificación del IPB del hormigón utilizado en la construcción del conjunto residencial “El Olam” | 48 |
| 4.2. | Establecimiento del impacto relacionado al proceso constructivo, en la construcción de viviendas en el conjunto residencial El Olam..... | 54 |
| | CAPÍTULO V | 65 |
| | 5.1. Conclusiones | 65 |
| | 5.2. Recomendaciones | 66 |
| | REFERENCIAS..... | 67 |
| | ANEXOS | 71 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Coeficiente de ponderación IPB..... | 40 |
| Tabla 2. Determinación de los valores Vi para el IPB | 41 |
| Tabla 3. Coeficientes de ponderación para el IPC | 43 |
| Tabla 4. Clasificación de los indicadores de sustentabilidad..... | 44 |
| Tabla 5. Matriz de Factores de Sostenibilidad | 47 |
| Tabla 6. Medidas para reducción de impactos | 50 |
| Tabla 7. Coeficiente de ponderación..... | 51 |
| Tabla 8. Coeficiente de Ponderación..... | 51 |
| Tabla 9. Coeficiente de ponderación..... | 52 |
| Tabla 10. Valores de porcentajes del hormigón A, B Y C..... | 52 |
| Tabla 11. Índice del proceso constructivo..... | 54 |

INDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Clasificación de los indicadores de sustentabilidad | 26 |
| Figura 2. Sistema y Categorización de parámetros e indicadores de sustentabilidad | 28 |
| Figura 3. Esquema de evaluación de impactos ambientales por los materiales de construcción | 30 |
| Figura 4. Mapa de Ubicación del conjunto residencial "El Olam" | 35 |
| Figura 5. Mapa de tipos de suelos en el Cantón Ibarra | 37 |
| Figura 6. Esquema PER | 45 |
| Figura 7. Modelo FPEIR El Olam | 46 |
| Figura 8. Esquema DAFO..... | 46 |
| Figura 9. Modelo DAFO para el conjunto habitacional El Olam | 59 |
| Figura 10. Modelo FPEIR de la construcción El Olam | 61 |

RESUMEN

EVALUACIÓN DE LA SUSTENTABILIDAD AMBIENTAL EN CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES; CASO DE ESTUDIO CONJUNTO RESIDENCIAL EL OLAM-IBARRA, ECUADOR.

El aumento acelerado de la población a nivel mundial ha ocasionado nuevos desafíos para abordar el avance urbano y la expansión de la frontera agrícola por los asentamientos humanos, incrementándose la demanda y construcción de viviendas, ya sean de tipo unifamiliar, o multifamiliar con materiales que poseen una huella de carbono alta como es el caso del hormigón, el propósito de esta investigación fue evaluar el impacto de la actividad de construcción con el fin de establecer un plan de sostenibilidad que pueda ser replicado en otros proyectos y permitan convertir dicha actividad en un proceso sustentable, esto debido a que la industria de la construcción es clave para lograr los objetivos del desarrollo sostenible, pero las actividades de uso, reparación, mantenimiento y demolición consumen recursos y generan residuos. Por esta razón, se estableció el tipo de impacto y se aplicó el índice de productos básicos, el índice de proceso constructivo con el cual se ponderó los impactos producidos en el sitio de la actividad obteniendo el índice de sostenibilidad del hormigón, cuyo resultado alcanzó un nivel c de 0.55 siendo un impacto medio además del ISH que es igual o mayor a 0.55 esto se debe al gran impacto ambiental que produce el empleo del hormigón en la actividad de construcción por lo tanto, realizar estudios sobre el impacto que genera el uso del hormigón en las construcciones, es necesario para considerar lo que puede ocasionar en el entorno donde se va a hacer dicha actividad, y a la vez buscar mecanismos que intenten mermar estos impactos.

PALABRAS CLAVES: Construcción, impacto ambiental, índice de productos básicos, índice de sostenibilidad del hormigón.

ABSTRACT

ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY ASSESSMENT IN THE CONSTRUCTION OF MULTI-FAMILY HOUSING; STUDY CASE OLAM RESIDENTIAL DEVELOPMENT, IBARRA, ECUADOR.

The speedily increase in the population worldwide has caused new challenges to address urban development and the expansion of the agricultural frontier due to human settlements, increasing the demand for housing construction, either single-family, or multi-family with materials that have a high carbon footprint. In the following study, an evaluation of the environmental sustainability of concrete in the construction of multi-family homes was carried out, the purpose of which was to evaluate the impact of the construction activity in order to establish a sustainability plan that can be replicated in other projects and make it possible to convert said activity into a sustainable process, this due to the construction industry is key to achieving the objectives of sustainable development, but the activities of use, repair, maintenance and demolition consume resources and generate waste. For this reason, the type of impact was established and the basic products index was applied, the construction process index with which weighted the impacts produced at the site of the activity, obtaining in such a way that the index of sustainability of the concrete, whose result reached a level c of 0.55 being an average impact in addition to the ISH that is equal to or greater than 0.55, due to the great environmental impact produced by the use of concrete in the construction activity, therefore, carry out studies on the impact that generates the use of concrete in constructions, it is necessary to consider what it may cause in the surroundings where said activity is going to be carried out, and at the same time look for mechanisms that are trying to reduce these impacts.

KEY WORDS: Construction, environmental impact, basic need products index, concrete sustainability index.

CAPÍTULO I

1.1. Revisión de antecedentes o Estado del Arte

La población mundial actual crece a una tasa aproximada del 1,07% por año, e implica un aumento promedio es de 82 millones de personas por año, actualmente asciende a 7 700 220 536 de habitantes y el Ecuador posee 17 100 444 habitantes (Worldometers, 2019). En este sentido, el estudio de Abril, Martín, y Ospina, (2007) para América Latina los efectos del crecimiento poblacional repercuten en algunos aspectos; mayor demanda de bienes y servicios; entre ellos, los de mayor connotación son los que implican salud y educación, además, en este contexto de desigualdades también se presenta un continuo desfase entre oferta-demanda incluso en el mercado laboral, que se enfrenta a poca oferta de trabajo contra un incremento constante de la mano de obra tanto calificada como no calificada (Acosta, 2009).

Un aspecto por destacar es los constantes flujos migratorios internacionales y locales, causando grandes implicaciones a los países receptores ya que en ocasiones el volumen de emigración es más de lo que pueden admitir (León, 2005). En varios sectores del Ecuador, se ha constatado la emigración sobre todo del campo a la ciudad con la intención de alcanzar el desarrollo y mejorar las condiciones de vida de los grupos humanos, esto trae como consecuencia que las ciudades tengan que destinar espacios de hábitat cada vez más pequeños para la vivienda y aparezcan barrios marginales carentes de servicios básicos que también suman al deterioro continuo del ambiente.(Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC], 2012)

Según Ahern (2013) la población mundial del siglo XXI se centrará en las ciudades ocasionando nuevos desafíos para abordar el avance urbano, el desarrollo y el crecimiento poblacional son hoy en día los principales temas que abordan los ecologistas y planificadores los cuales están preparados para contribuir en un modo transdisciplinario en el que se integra las políticas de planificación y construcción con el desarrollo sustentable en espacios urbanos.

Por estas razones se entiende que a mayor población se requiere más crecimiento; de este modo, las actividades de construcción contribuyen al desarrollo de la sociedad, sin embargo, generan un impacto considerable en el ambiente durante todo su ciclo de vida, puesto que las edificaciones provocan impactos a través de la ocupación del espacio y paisaje, la extracción de recursos y generación de residuos (Acosta, 2009).

Según Zega (2017) la presencia de infraestructuras ha sido un indicador de calidad de vida en cualquier sociedad moderna, en ocasiones se ha tomado en cuenta los impactos que esto genera al ambiente. En el caso de la industria constructora ha sido la que más afectaciones produce por la gran cantidad de recursos que consume y los residuos que genera, por tal motivo se ha llevado a la búsqueda de nuevas alternativas para reciclar el material en este campo, como la reutilización de hormigón de desecho, que al reciclarlo se puede mejorar el desempeño y durabilidad del nuevo material obtenido (Acosta, 2009).

La industria de la construcción es uno de los aspectos clave para lograr los objetivos del desarrollo sostenible pues sus actividades de construcción, uso, reparación, mantenimiento y demolición consumen recursos y generan residuo (Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y Recuperación de la Construcción [ALCOPANT], 2013). La elección de materiales para construcción se presenta como desafíos para mejorar el desempeño con respecto a los indicadores de desarrollo sustentable y el uso de materiales sostenibles, el compromiso para desarrollo sostenible la vivienda, tanto en su forma cualitativa (nivel de vida) como cuantitativa (déficit habitacional) ya que representa uno de los grandes problemas que enfrenta la humanidad especialmente en los países subdesarrollado (Organización de las Naciones Unidas [ONU], 2018)

En Colombia la Secretaría Distrital de Ambiente (2013) señala que las construcciones civiles generan impactos negativos en el ambiente asociados al alto consumo energético, alteración al paisaje, contaminación del aire, suelo y agua a partir de la generación como residuos líquidos, sólidos y gaseosos. En este sentido

los impactos relacionados con la extracción, fabricación y transformación de materiales están asociados a todo el ciclo de vida e incluyen contaminación del aire, agua y suelo, además de todos los derivados del uso de energías no renovables (Zega, 2017).

Según Sassi (2006) es posible ordenar los materiales desde aquellos en que la transformación industrial e impacto ambiental asociado es mínimo, como son el barro, la piedra o la madera hasta aquellos que necesitan una gran transformación y sus emisiones ambientales son bastante importantes en cuanto a contaminación, calentamiento global, emisiones de tóxicas, etc., tales como la producción de plásticos o metales. Para poderle dar una segunda vida útil a estos materiales se ha considerado varias opciones en el campo de la construcción y así reducir de cierta manera el impacto negativo que esta industria genera (Vega, 2015).

Vega (2015) señala que la sustitución de estos materiales considerados con alto impacto (acero, PVC, aluminio, cemento u hormigón) por otros con menor impacto (aluminios o aceros reciclados) por el contrario, es complicado encontrar una alternativa de materiales con menor impacto. A esto se le suma el difícil acceso a la información respecto a los impactos asociados a los diferentes productos que se utilizan en construcción. Una opción ya presentada en Europa son las ecoetiquetas reguladas por la norma ISO 14020 (2000), sin embargo, no se han implantado todavía lo suficiente como para que sean una fuente fiable y son pocos los fabricantes que puedan acceder a ellas debido a su elevado costo (Neira, 2016).

El Building Research Establishment (BRE) desarrolla desde la década de los 90 un sistema de evaluación de productos en la construcción basado en el Análisis de Ciclo de Vida (ACV) (Ramírez, Sánchez y García, 2003). Los resultados están disponibles a través de internet en su web, así como una amplia información explicativa del proceso de análisis que han llevado a cambio. No obstante, la información proporcionada no brinda estándares realmente útiles para desarrollar un análisis siguiendo criterios ya que determinados datos en el proceso están deliberadamente ocultos (Vega, 2015).

Según Rumi *et al.* (2014) en los materiales utilizados se prioriza el hormigón, como uno de los materiales con un alto consumo mundial debido a su gran cantidad de aplicaciones y durabilidad, pero por otra parte genera mayores afectaciones al ambiente. Por esta razón se desarrolló en Argentina una forma de prevenir y reducir los impactos ambientales negativos que forman estas construcciones a través de una metodología establece criterios de evaluación sobre sustentabilidad en las construcciones desarrollando particularmente indicadores que componen el criterio ambiental que permite cuantificar la sustentabilidad de una construcción con hormigón, con una metodología relativamente simple (Vega, 2015).

En Ecuador según un estudio realizado por Peltre y Rodríguez (1987) indican que el ecosistema urbano importa masivamente energía, materiales y alimentos. Produciendo cantidades considerables de desperdicios que son acumulados en su propio sitio o que exporta provocando la contaminación de su entorno. La actividad constructora aporta en gran cantidad la generación de basuras, donde el manejo no es adecuado. Los estándares que evalúan la sostenibilidad con respecto a los materiales utilizados en el proceso de construcción, incorporando condicionantes propias a la realidad local, y desarrolló una evaluación en tres procesos constructivos con los criterios definidos los cuales podrán ser aplicables a todo tipo de construcción (Caraguay, 2015).

Neira (2016) analiza la implementación de conceptos sobre sustentabilidad aplicados en los diseños y procesos constructivos en la urbanización Bellamans del Distrito Metropolitano de Quito, los mismos que son evaluados para llegar a determinar los beneficios y la aplicabilidad en proyectos futuros. Concluye el autor que la construcción en proyectos urbanísticos con sistemas autosustentables aplica los criterios del desarrollo sustentable en el manejo de los recursos naturales, económicos y humanos, de tal forma que se reduzca el impacto ambiental, los gastos energéticos, el consumo de agua y que se logre por consecuencia, un mejoramiento del confort al interior de las viviendas respetando el entorno inmediato es decir el sitio o lugar de la implantación de proyecto.

Según Naik *et al.* (2005) el hormigón es el material más ampliamente utilizado con fines estructurales ya que ofrece: versatilidad (pocas limitaciones geométricas), buen comportamiento en servicio, material económico, etc. A futuro será difícil reemplazarlo, dándole a las evaluaciones ambientales un papel destacado en el desarrollo sustentable de la industria del cemento y el hormigón resultando imprescindible que se estudie el formato para prevenir y reducir los impactos ambientales negativos que generan estas construcciones.

1.2. Problema de Investigación y Justificación

En las últimas décadas el problema que se presenta a nivel mundial es el aumento poblacional, lo que ocasiona que haya un mayor consumo de servicios ecosistémicos y que la población busque donde acentuarse. Por tal motivo exista mayor desgaste de recursos naturales y demanda de espacio (Aledo, 2008). Según las ONU (2014), se planteaba que la tierra estaría en aumento, actualmente la población mundial es de 7 700 220 536 habitantes y que día a día va en aumento ocasionando alteración al entorno natural.

La situación en América Latina se caracteriza por el desequilibrio territorial con altas tasas de crecimiento demográfico en las capitales debido a la migración; motivo por el cual las ciudades están sometidas a grandes operaciones inmobiliarias (Carrión, 2001). Dentro del análisis, Ecuador no es ajeno a la mencionada realidad ya que sus principales ciudades se observa el crecimiento poblacional como la continua migración de personas, no solo del sector rural al urbano, sino también de ciudades que no han logrado proporcionar condiciones de vida favorables para sus pobladores (INEC, 2012).

Dentro de todos los aspectos que representa la construcción la elección de los materiales tiene amplias consecuencias económicas, ambientales y sociales en cualquier sociedad, dado que el costo total de la mayoría de las estructuras depende en gran medida de los tipos de materiales utilizados, además, el consumo de energía

de cualquier edificio tiene una relación significativa con los materiales utilizados para la construcción y el diseño del edificio (Taher, Zakaria, & Mohamad, 2014).

Lo anterior, hace que el material de construcción sea un factor importante en el desarrollo sostenible. Según Urbel, Anderberg y Olsson (2010) se ha integrado en muchos aspectos de la sociedad en los últimos años; esto ha convertido el concepto en un aspecto importante de muchas industrias alrededor del mundo. Según Danso (2018), la sostenibilidad es un concepto integrado, por el cual los factores ambientales, sociales y económicos están interrelacionados, lo que implica que es aplicable en casi todos los campos de estudio e industria.

En el campo de la construcción, la sostenibilidad es motivo de gran preocupación debido a los grandes requerimientos de capital y los factores ambientales, además de la adaptabilidad social (Loja, 2015). Los materiales de construcción y las metodologías aplicadas en la construcción de estructuras tienen una gran influencia en los problemas de desarrollo sostenible en el campo de la construcción, en este sentido, los edificios sustentables son aquellos que aprovechan los recursos naturales disponibles y dependen de una elección "verde" de materiales (Neira, 2016)

En Ecuador los cimientos y la estructura de hormigón predominan en las construcciones de viviendas, lo cual se debe principalmente a su durabilidad. Según la última información disponible del (INEC, 2018) el hormigón armado es el principal material para emplear en las edificaciones a construir, este es utilizado para cimientos, estructura, y cubierta en un 82,6%; 90,1% y 51,2% de los permisos de construcción respectivamente (Alavedra *et al.*, 1997).

El presente estudio se enfoca en el cantón Ibarra donde según el INEC (2010) la población para ese año reflejaba 181 175 habitantes lo que denota un aumento, en análisis, la tasa de crecimiento para el cantón en el año 2010 registra el 1,9% en comparación con la tasa nacional que fue del 1,52%, frente a la tasa provincial de 1,6% en el mismo año.

Para Hernández (2008) la mayoría de las ciudades importantes de América Latina en la actualidad se han convertido en metrópolis, además han crecido de manera desorganizada, igualmente desde el siglo XXI existe un ordenamiento territorial inapropiado, desde entonces se ha tenido avances imprevistos. Por consiguiente, una de las principales razones que emplean los planificadores de las ciudades, para justificar sus decisiones, es que pretenden alcanzar un alto índice de calidad de vida para la población (Escriche, 2006).

En definitiva, la industria de la construcción y urbanización es una de las que mayor impacto genera al ambiente en todo el mundo (Wilson *et al.*, 1998). Las construcciones tienen un alto impacto sobre el ambiente: utilizan recursos naturales renovables y no renovables en grandes cantidades; generan altos consumos energéticos antes, durante y después de construidas; propician emisiones de CO₂ además vierten al medio desechos líquidos, sólidos y gaseosos que en su mayoría no tienen tratamiento alguno, causando un deterioro en la calidad de los distintos recursos agua, aire y suelo (Área Metropolitana del Valle de Aburra [AMVA], 2010).

Obtener información sobre los impactos ambientales asociados al uso del hormigón es importante para la debida evaluación y selección de materiales que permitan un proceso de construcción sustentable (Agudelo *et al.*, 2012), debido a que varios estudios aseguran que el proceso de fabricación es importante, pero asimismo es el que más daño causa al ambiente. Por lo tanto, lo mencionado anteriormente en el presente estudio se pretende analizar la sustentabilidad ambiental en la construcción de las viviendas de hormigón del conjunto Residencial El Olam-Ibarra además de establecer si la producción del hormigón y la etapa de construcción son adecuadas de acuerdo con los indicadores del desarrollo sustentable.

La construcción sustentable es la adopción de materiales y productos cuya fabricación requerirá un menor uso de recursos naturales y permitirá la reutilización de dichos materiales (Pamies, Herminia y Jacobo, 2014) por consiguiente en los procesos de construcción el hormigón es el material de mayor utilización por ello

la importancia de medir la sustentabilidad que permitirá reducir el impacto ambiental, desde el punto de vista económico este material es rentable pero produce graves afectaciones al entorno por lo tanto es importante una visión ecológica de este material donde pueda ser reciclado y ser de buena calidad además de proteger los recursos naturales no renovables, ahorrar energía y reducir costos (Flores, Martín, Blasco y Alejandro, 2015)

En este contexto, el propósito de la presente investigación se enfoca en evaluar el impacto de la sustentabilidad ambiental del hormigón utilizado en la construcción de viviendas multifamiliares, con el fin de establecer un plan de sostenibilidad que pueda ser replicado en otros proyectos y permitan convertir la actividad de construcción en un proceso sustentable, además de la entrega de resultados con estrategias viables para las autoridades pertinentes con el propósito de ejercer una práctica adecuada y responsable al momento de elegir materiales de construcción.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la sustentabilidad Ambiental del hormigón en la construcción de viviendas multifamiliares en el conjunto residencial El Olam-Ibarra, Ecuador.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Determinar el impacto de los materiales y productos básicos de la elaboración del hormigón. a través del Índice de los Productos Básicos (IPB) en la sustentabilidad ambiental de la construcción de viviendas de hormigón.
- Establecer el impacto relacionado al proceso constructivo, mediante la determinación del Índice del Proceso Constructivo (IPC) en la sustentabilidad ambiental de la construcción de viviendas de hormigón.
- Elaborar un Plan de Sustentabilidad para la construcción de conjuntos habitacionales, en base a los resultados obtenidos del indicador de Sustentabilidad de hormigón.

1.4. Pregunta directriz de la investigación

¿La construcción de viviendas multifamiliares elaboradas a partir de hormigón es sustentable?

CAPÍTULO II

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico referencia

Crecimiento Poblacional

Es evidente que, con el actual ritmo de crecimiento demográfico, se podría llegar a duplicar la población mundial (Ramírez, 2002). Debido a esto se requiere un adelanto social, entendiéndose entre diferentes aspectos, como un proceso de urbanización, con el cual se estaría cubriendo las necesidades de vivienda, sin embargo, esta dinámica tiene sus consecuencias tanto en la vida de las personas como en el medio ambiente (Ruiz y Núñez, 20016). Cualquier proyecto de desarrollo de infraestructura para mejorar la calidad de vida conlleva impactos positivos y negativos, de modo que la construcción no está exenta de producir impactos al ambiente (Enshassi, Kochendoerfer y Rizq, 2014).

El sector de la construcción es considerado mundialmente como una de las principales fuentes de contaminación ambiental (Alavedra *et al.*, 1997). Los impactos producto de la construcción son agotamiento de los recursos, pérdida de la diversidad biológica por la extracción de materias primas, vertido de residuos, efectos contraproducentes para la salud humana en consecuencia a la mala calidad del aire interior, calentamiento global, lluvia ácida y smog causado por las emisiones generadas por la fabricación de productos que se utilizan en la construcción y el transporte de los mismos que consume energía (Enshassi *et al.*, 2014).

Según la FAO (2012), la evaluación de los impactos al ambiente es una herramienta fundamental para que los tomadores de decisiones identifiquen los efectos de proyectos propuestos, a fin de evaluar enfoques alternativos, y de incorporar medidas adecuadas para ejercer prevención, mitigación, gestión y monitoreo de lo

ambiental. Además, a través de la valoración de impactos ambientales se busca el cumplimiento de las políticas ambientales, lo que permite corregir las acciones humanas, actuando de manera preventiva en el proceso de gestión (Espinoza, 2002).

Para De la Maza (2007) la evaluación del daño ambiental causada por la realización de proyectos de inversión es diseñada de tal manera que pueda compatibilizar la protección del ambiente y la ejecución de las actividades humanas, buscando siempre la estabilidad entre estos. Es importante poder correlacionar y llevar a la par el desarrollo económico con el cuidado ambiental, tomando en cuenta todos los impactos posibles que se pueden suscitar en dicha actividad y planificar de mejor manera los recursos a extraer.

De acuerdo a Conesa (1993), los factores y parámetros ambientales, engloban diversos componentes del medio ambiente entre los cuales se desarrolla la vida en el planeta. A lo cual Perevochtchikova (2013), presenta que entre los aspectos ambientales más abordados dentro de la evaluación de impacto ambiental se destacan el aire, el agua, la biodiversidad, el bosque, el suelo y la problemática del cambio climático.

En consonancia con (Conesa, 1993) existe impacto ambiental cuando una acción o actividad produce alteración, favorable o desfavorable, en el medio o en alguno de sus componentes. Por lo tanto, es necesario realizar estudios de impacto ambiental en cualquier proyecto ya que así, podemos identificar y estimar aspectos positivos o negativos durante la fase de construcción, funcionamiento y cierre (Sbarato y Ortega, 2007).

Desde el punto de vista del sector de la industria de la construcción civil, la sostenibilidad puede ser interpretada como una manera de proyectar y construir en armonía con el medio ambiente, preservando la salud física y los aspectos sociales de la humanidad, de forma económicamente viable (Viloria, Cadavid y Awad, 2018). A pesar de la interpretación no siempre se logra una construcción basada en

la sostenibilidad por eso la importancia de la planificación previa de los materiales a utilizar en dicha actividad (Ramírez, 2002).

En este mismo contexto la desmaterialización es considerada una herramienta adecuada para alcanzar la sostenibilidad en una construcción pues se trata de obtener el mismo desempeño con menores cantidades de materiales, representando la reducción de contaminación, incluyendo la lluvia ácida y los gases de efecto invernadero (John y Col, 2009). Esto ha dado como resultado la definición de sustentabilidad más citada como parte del concepto de desarrollo sustentable (French, 2012). La sustentabilidad implica la provisión de servicios más eficientes que mantengan la salud pública y el bienestar, que sean rentables y reduzcan los impactos ambientales negativos, hoy y en el futuro (Taher, Zakaria y Mohamad, 2014).

Un aspecto importante de la sustentabilidad en ingeniería es la necesidad de utilizar un enfoque sistemático para evaluar los impactos de las actividades, en este sentido, Kates *et al.* (2010) establece que el propósito de evaluar la sustentabilidad es proporcionar a los tomadores de decisiones una evaluación de sistemas integrados de la sociedad, a la naturaleza de lo global a lo local en perspectivas de corto y largo plazo, para determinar qué acciones deben o no tomarse en un intento de hacer que la sociedad sea sostenible. Existe una necesidad de los individuos en la que las actividades que se realizan son insostenibles impidiendo la sostenibilidad (Urbel, Anderberg y Olsson, 2010).

Li *et al.* (2010) sostiene que la construcción es la principal fuente de contaminación ambiental en comparación con otras industrias, por lo tanto, en la actualidad se ha incorporado el concepto de construcción sostenible, la cual deberá entenderse como el desarrollo de la construcción tradicional, pero con una responsabilidad considerable hacia el medio ambiente que involucra a las partes pertinentes y participantes Alavedra *et al.* (1997) .Se debe percibir que el desarrollo sustentable, es aquel donde se incluye al medio ambiente como parte integral de la economía; además, que este debe ser técnicamente apropiado, económicamente viable y

socialmente aceptable, de tal modo que permita satisfacer las necesidades crecientes de los países De la Maza, (2007)

A juzgar por Ramírez (2002), la construcción sostenible se puede definir como aquella que tiene especial respeto y compromiso por el ambiente, también implica usar eficientemente el uso de la energía y del agua, se enfoca hacia una reducción de impactos ambientales. La construcción sostenible, se debería conocer como la construcción del futuro, pues tiene especial respeto y compromiso con el ambiente, implica el uso sostenible de la energía, en tal virtud es indispensable incluir la aplicación de las energías renovables (Alavedra *et al.*,1997).

La construcción sostenible se orienta a garantizar la habitabilidad, sobre la cual Moreno (2008), conceptualiza al espacio urbano como una condición habitacional donde la vivienda está integrada físicamente a la ciudad, con accesibilidad a servicios y equipamientos, rodeada de un espacio público de calidad, contrario a esto se carece de habitabilidad cuando la vivienda aun estando en buenas condiciones se encuentra emplazada en un área vulnerable, marginal y de difícil acceso (Ramírez, 2002).

Rueda (1997) afirma que la habitabilidad es mantener la calidad de vida en los sistemas urbanos a partir de cuatro grandes ámbitos del bienestar, como General de las personas, Ambiental, Psicosocial y Sociopolítico. Además de satisfacer las necesidades objetivas y subjetivas de los individuos o grupos que ocupan en un determinado escenario (Castro, 1999).

Los indicadores de sustentabilidad tienen el potencial de convertir el concepto genérico de sustentabilidad en acción (Buildabroad, 2017). Un desafío principal es el desarrollo de herramientas prácticas para medir y mejorar la sustentabilidad de la infraestructura urbana durante su ciclo de vida (Taher, Zakaríá y Mohamad, 2014). Una forma de comprender y cuantificar estos efectos interactivos es mediante el uso de índices e indicadores de sustentabilidad.

Conforme a Harger y Meyer (2006) los indicadores son herramientas que las cuales presentan características de simplicidad, alcance, ser cuantificables, que permitan determinar directrices, que sean sensibles al cambio y permitan la identificación oportuna de tendencias. Se establece que los indicadores e índices, que se miden y calculan continuamente, permiten el seguimiento de tendencias de sustentabilidad a más largo plazo desde un punto de vista retrospectivo (Anderson y Thornback, 2012).

Existen múltiples clasificaciones de los indicadores de sustentabilidad (IS), en este sentido, Thomas(2010) establece que se dividen en dos criterios y enfoques. La primera clasificación se divide en alcances temáticos, sentido teórico y marcos o modelos conceptuales, por otra parte, existe la clasificación según su enfoque los cuales se clasifica en monetarios, biofísicos y metodológicos (Figura 1).

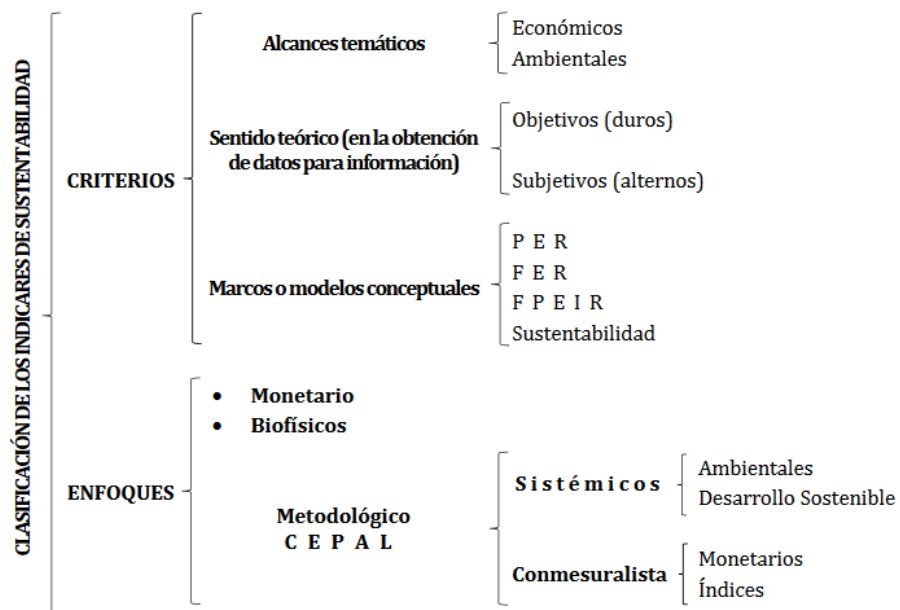


Figura 1. Clasificación de los indicadores de sustentabilidad
Fuente: Thomas (2010)

La vivienda es fundamental para satisfacer las necesidades humanas básicas, pero también es importante para el desarrollo social de las comunidades, aunque tradicionalmente la política de vivienda se ha centrado en el cumplimiento de las necesidades sociales fundamentales, como viviendas asequibles, decentes y

saludables, también debe garantizar que la vivienda cumpla con las necesidades sociales intermedias, como el transporte y las instalaciones, así como con las necesidades finales del desarrollo humano (Shen *et al.*, 2011).

En gran medida, las decisiones relativas al diseño, construcción, mantenimiento y demolición de estructuras se han basado en el análisis de costos (Urbel *et al.*, 2010). Hoy en día, los indicadores económicos como los costos de capital y los costos de operación y mantenimiento continúan jugando un papel importante en la toma de decisiones como parte de un conjunto más amplio de indicadores (Danso, 2018).

En este contexto, Pamies, Herminia y Jacobo (2014), establecen que los indicadores de sustentabilidad en la construcción tienen una clasificación la planificación y/o consideración del sitio de manera sustentable, la conservación y el aprovechamiento de materiales y recursos; la configuración arquitectónica del edificio; forma y diseño, las envolventes propuestas para la protección en cuanto a aislamiento contra agentes climáticos y aprovechamiento de los recursos naturales; materialidad o envolvente, el uso eficiente de la energía, y el uso de energías renovables; energía, el consumo racional del agua como recurso; la disminución de residuos y emisiones; el cuidado de la calidad ambiental interior; el sistema de vegetación utilizada; la consideración de los medios de transporte utilizados. Estableciendo para cada uno de estos elementos los indicadores de sustentabilidad según se muestra en la Figura 2.

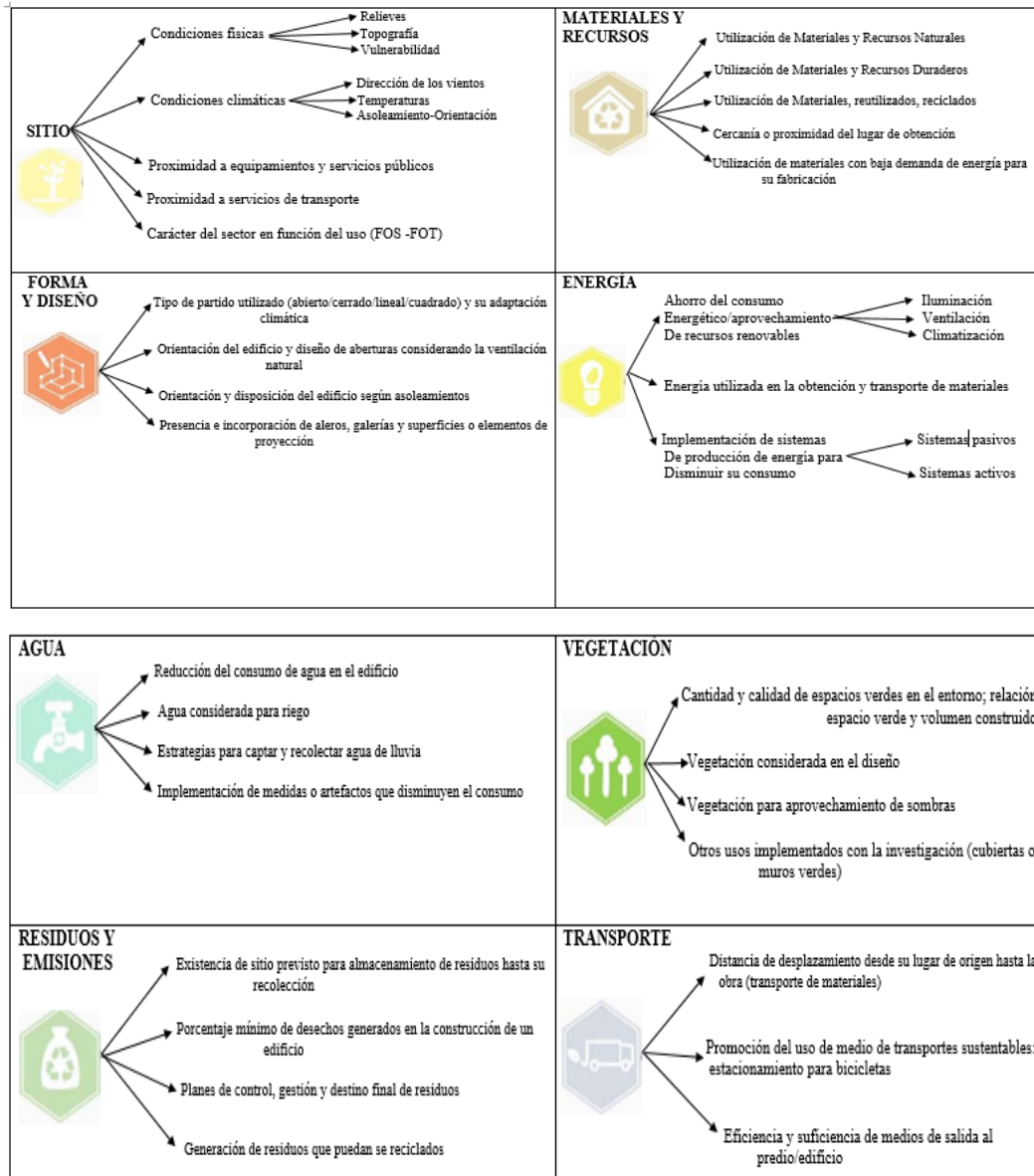


Figura 2. Sistema y Categorización de parámetros e indicadores de sustentabilidad
Fuente:(Pamies, Herminia y Jacobo, 2014)

El hombre ha buscado perfeccionar los materiales de construcción a lo largo del tiempo, por lo que ha utilizado diferentes tipos de materia prima en función de establecer cuales aportan eficiencia al proceso de construcción además de ofrecer ventajas económicas, por estas características el hormigón es un material muy utilizado en la construcción de viviendas. Los hormigones son materiales obtenidos artificialmente de la aglutinación de materiales pétreos (grava, arena, etc.), por medio de la hidratación de los materiales conglomerantes (Loja, 2015). Determinadas características o propiedades del hormigón dependen del estado en

que se encuentra, así, antes de que empiece el proceso de fraguado el hormigón está fresco y se encuentra en un estado plástico (Nieto, 2014).

El hormigón trabaja muy bien a compresión, pero su resistencia a tracción es mucho menor, por lo que los elementos sometidos a importantes esfuerzos de tracción se diseñan y construyen con hormigón armado, con la incorporación de barras de acero que se denominan armaduras las cuales se colocan en la zona de la pieza donde se producen los esfuerzos de tracción y, por tanto, el hormigón solo debe trabajar a compresión (Nieto, 2014).

Generalmente para las construcciones tradicionales el hormigón debería alcanzar una resistencia media alrededor de los 300 kg/cm² y en ocasiones menores, esto debido a que en muchas construcciones el hormigón se elabora en obra y con mano de obra no calificada, especialmente en construcciones de pequeña magnitud como viviendas unifamiliares. En construcciones de edificaciones de mayor magnitud como edificios multifamiliares, en muchos casos se compra el hormigón a fábricas dedicadas a esta labor, así se garantiza la calidad del hormigón y se disminuye el tiempo que conlleva la elaboración del concreto in situ (Loja, 2015).

El Índice de Sensibilidad Medioambiental (ISMA), recoge diversos aspectos relacionados con la disminución en el consumo de recursos naturales y en la emisión de contaminantes, el ahorro energético y el reciclaje, entre otros. En lo relativo a lo social y económico se incluyen aspectos relacionados con la formación y seguridad del trabajador, la aplicación de resultados de investigación o la extensión de la vida útil de la estructura, entre otros (Figura 3) (Montero, Ortega y Rumi, 2015).

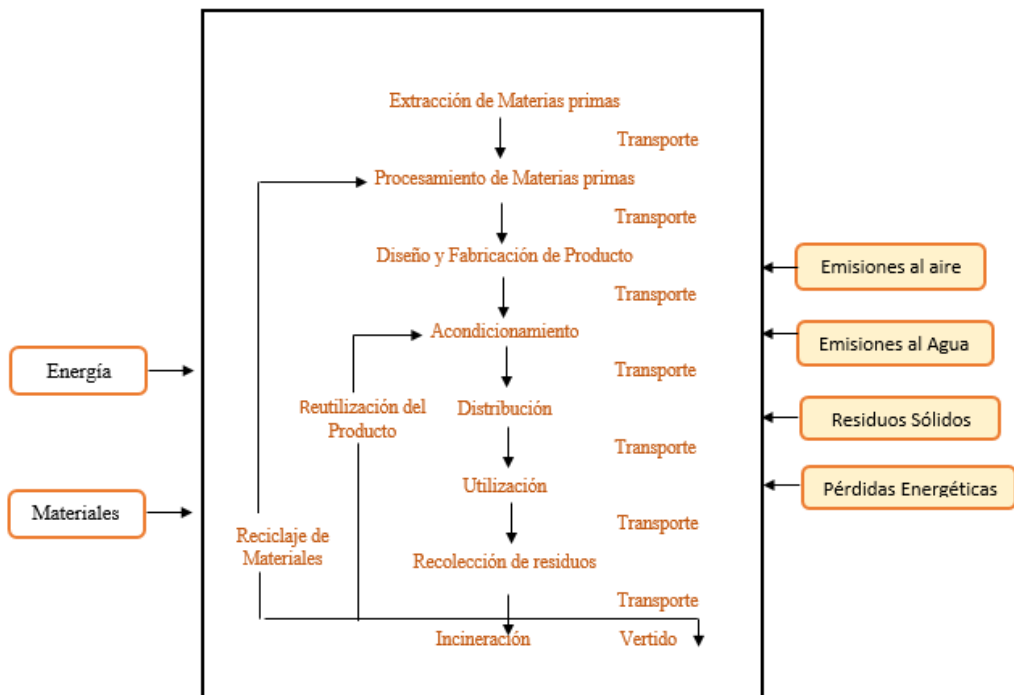


Figura 3. Esquema de evaluación de impactos ambientales por los materiales de construcción
Fuente:(Velepucha, 2014)

2.2. Marco legal

2.2.1. Constitución de la República del Ecuador

La presente investigación se sustenta en varios artículos de la Constitución de la República del Ecuador, (2008). En el artículo 14 el estado reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado. Los artículos 15 y 276 establecen que el estado promoverá en el sector público y privado el uso de tecnologías limpias y de bajo impacto además de recuperar y conservar la naturaleza garantizando a la población el acceso equitativo y permanente de calidad a los recursos agua, suelo y aire. De igual forma, el artículo 396 indica el Estado adoptará las políticas y medidas oportunas que eviten los impactos ambientales negativos, en este sentido cualquier proyecto o actividad deberá estar acompañado de acciones que permitan mitigar o prevenir impactos ambientales.

2.2.2. Tratados internacionales

El Ecuador ha suscrito varios tratados internacionales como; el tratado de Estocolmo realizado el 16 de junio de 1972. Principio. 1. El hombre tiene derecho fundamental a la libertad, la igualdad y el disfrute de condiciones de vida adecuadas en un medio ambiente de calidad. Así también el Principio. 2. Los recursos naturales de la tierra incluidos el aire, el agua, la tierra, la flora y la fauna y muestras representativas de los ecosistemas naturales, deben preservarse en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

En la Cumbre de Johannesburgo 2002, se reafirma el interés por aumentar el acceso a los servicios básicos, como el suministro de agua potable, saneamiento, vivienda adecuada, energía, atención de salud, seguridad alimentaria y protección de la biodiversidad.

2.2.3. Código Orgánico del Ambiente

Toda actividad antrópica causa algún tipo de impacto al entorno natural por lo tanto el Código Orgánico Ambiental en el Título II (Sistema Único de Manejo Ambiental) capítulo 1, (Del Régimen Institucional), afirma que el artículo 162 garantiza que todo proyecto, obra o actividad, que pueda causar riesgo o impacto ambiental, deberá cumplir con las disposiciones y principios que rigen al Sistema Único de Manejo Ambiental, además el Capítulo IV (De los instrumentos para la regularización ambiental), los artículos 179 y 181 afirman que toda actividad que tenga un impacto medio o alto se realiza estudios de impacto ambiental además que el instrumento para el cumplimiento para el operador es de realizar un plan de manejo ambiental.

2.2.4. Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía y Descentralización

De acuerdo con el Art. 54 son funciones del GAD Municipal a) Promover el desarrollo sustentable. c) Establecer el régimen de uso del suelo y urbanístico, asegurando porcentajes para zonas verdes y áreas comunales. Además, lo declarante encargado de ejercer el control sobre el uso y ocupación del suelo en el cantón según lo indica el Art. 55. En cuanto al Art. 136 las obras o proyectos que deberán obtener licencia ambiental son aquellas que causan graves impactos al ambiente.

2.2.5. Acuerdos Ministeriales

Acuerdo Ministerial N° 097A, en donde se acuerda: Expedir los Anexos del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente. Que son Anexo 1, referente a la Norma de Calidad Ambiental y de descarga de Efluentes del Recurso Agua. Anexo 2, referente a la Norma de Calidad Ambiental del Recurso Suelo y Criterios de Remediación para Suelos Contaminados. Anexo 3, referente a la Norma de Emisiones al Aire desde Fuentes Fijas. Anexo 4, referente a la Norma de Calidad del Aire Ambiente o nivel de Inmisión. Anexo 5, referente a la Niveles Máximos de Emisión de Ruido y Metodología de Medición para Fuentes Fijas y

Fuentes Móviles y Niveles Máximos de Emisión de Vibraciones y Metodología de Medición, que son parte de la normativa de competencia en el ámbito de la construcción, las cuales deben ser observadas y acatadas como el ámbito de regulación válido para esta actividad.

2.2.6. Ordenanzas Municipales del Cantón Ibarra

- **Ordenanza de Materiales Áridos y Pétreos**

Capítulo IV De la Regulación. - Art. 24 Del derecho al ambiente sano. - Los concesionarios de áreas de explotación de materiales áridos y pétreos cumplirán los planes de manejo ambiental e implementarán sus medidas, realizarán sus actividades utilizando técnicas, herramientas y materiales necesarios para evitar los impactos ambientales. Capítulo XIV de la Gestión Ambiental sobre la Explotación de Materiales Áridos y Pétreos Art. 92. Instancia competente en el Municipio. - La Dirección de Gestión de Ambiente de la Municipalidad es la instancia competente para administrar, ejecutar y promover la aplicación de esta Ordenanza en cuanto se refiere al tema ambiental.

- **Ordenanza Reformatoria a la Ordenanza de Creación de la Empresa Pública Municipal para el Aprovechamiento e Industrialización de Residuos Sólidos, Materiales Áridos y Pétreos del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra, AISAP-EP.**

Capitulo II Art. 4 Objetivos y Fines a) La dotación, operación, mantenimiento, administración, control y funcionamiento de los servicios de tratamiento y disposición final de conformidad con las diversas formas que establezca la empresa, para los residuos sólidos domiciliarios. La gestión integral de los residuos sólidos especiales y peligrosos donde se incluye la regulación y control del manejo y disposición final de los escombros o residuos de materiales de construcción y otras funciones determinadas por el directorio. c) Ejecutar y coordinar políticas ambientales y programas de acción, dirigidos a proteger y preservar el ambiente a través de la generación de conciencia ciudadana en su obligación de reducir la generación, reciclar y reutilizar los residuos sólidos, mantener limpia a la ciudad,

haciendo buen uso de los recursos municipales entregados a la ciudadanía como son los contenedores y otros que se implementaren.

2.2.7. Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1855-1 para la fabricación del Hormigón

La elaboración del hormigón se encuentra regulada por el instituto ecuatoriano de normalización, en la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1855-1 Hormigón Premezclado Requisitos, NTE INEN 1855-2:2001 primera edición Hormigones. Hormigón Preparado en Obra Requisitos.

En el capítulo 5 de la norma técnica ecuatoriana NTE INEN 1855-1: 2001, se describe los requisitos específicos de los materiales con los que se va a realizar la producción del hormigón en estado fresco y no endurecido, también se encuentra la norma ASTM C143, que se refiere a los ensayos de los materiales al tomar probetas de hormigón, norma INEN 872 la cual especifica los requisitos que deben cumplir los áridos así como los ensayos obligatorios para controlar la producción del hormigón, la norma ASTM C33 la cual establece la granulometría del agregado grueso así como también del agregado fino y sus límites en el tamaño máximo como en el mínimo.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción del área de estudio

La investigación se realizó en el sector conocido como Pulmón de la Ciudad de Ibarra (Dirección Av. Camilo Ponce y Periférico Sur), en la parroquia San Francisco perteneciente al cantón San Miguel de Ibarra, provincia de Imbabura, con el siguiente posicionamiento geográfico: $00^{\circ} 19' 52,57''$ S $78^{\circ} 08' 19,23''$ (Figura 4).

El cantón Ibarra limita al norte con la provincia del Carchi, al noroeste provincia de Esmeraldas, al oeste, con los cantones Urcuquí, Antonio Ante y Otavalo; al este cantón Pimampiro y al sur provincia de Pichincha (GAD-I, 2015).

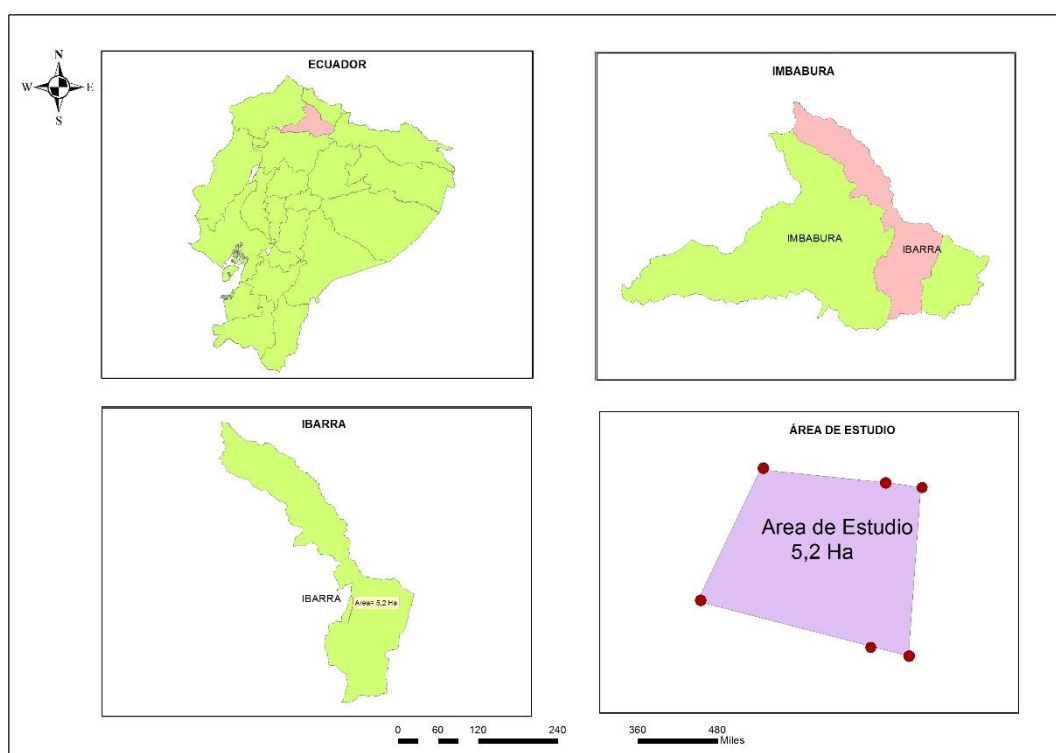


Figura 4. Mapa de Ubicación del conjunto residencial "El Olam"
Fuente: Elaboración propia, 2021

La parroquia San Francisco se encuentra a una altitud de 2 225 m.s.n.m, ocupa una superficie de 1 162,22 km², con temperatura media anual que varía entre los 7°C y

los 25°C y las precipitaciones medias anuales alcanzan entre los 1 000 y 1 400 mm al año (GAD-I, 2015).

El Conjunto Habitacional “El Olam”, es un proyecto de urbanización que constará de 32 viviendas en un área de 5 342,72 m². La compañía Camacho Constructores responsable del proyecto de edificación inició la fase de construcción en el mes de octubre del año 2018; evidenciando el crecimiento poblacional motivo por el cual se sustenta en la demanda de viviendas que existe actualmente, lo que se constata en base a los datos expuestos por el INEC (2010), en la cual Ibarra tuvo un incremento de 27 919 habitantes desde el año 2001 al 2010.

3.1.1. Componente biofísico

- **Relieve**

Según el Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de San Miguel de Ibarra GAD-I, (2015), en el cantón se han encontrado cinco rangos de inclinación del terreno, las pendientes que predominan son aquellas que se encuentran entre los 5 a 12%, mientras que, las pendientes con menor dominancia son aquellas con una pendiente superior a 70%.

- **Suelos**

La estructura del suelo es muy diferente en cuanto a la composición física y química ya que varía según la ubicación. La composición del suelo está determinada por varios aspectos como: material geológico del que se origina, cubierta vegetal, tiempo de meteorización, topografía y los cambios por actividades antrópicas. La ciudad de Ibarra está conformada por tres grandes grupos de suelo: Orden entisol, inceptisol y molisol (GAD-I, 2015).

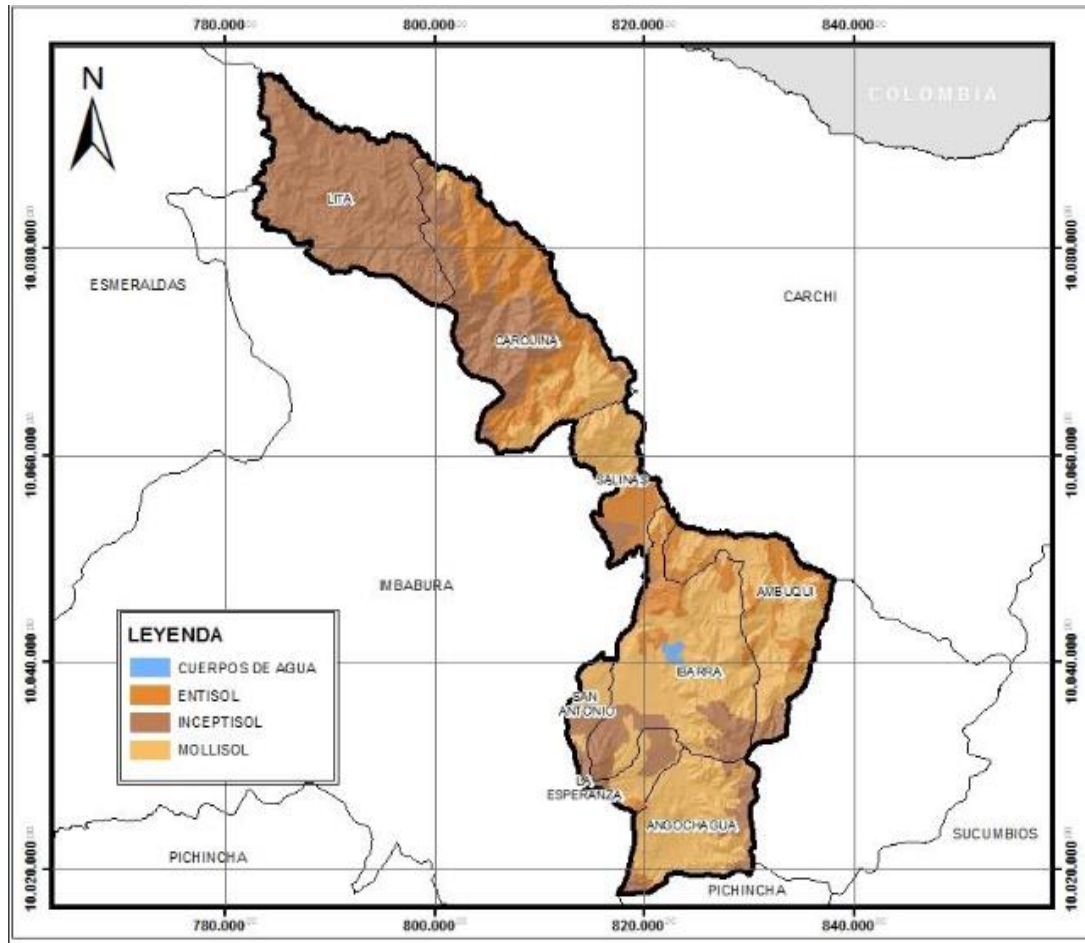


Figura 5. Mapa de tipos de suelos en el Cantón Ibarra
Fuente: (GAD-I, 2015)

El Conjunto residencial Olam, se encuentra situado en un suelo de Orden Molisol. Característicos de las zonas de pastizales, especialmente en climas templados, húmedos y semi-áridos, sin lixiviaciones excesivas, oscuros con buena descomposición de la materia orgánica. Poseen una saturación de bases mayor al 50%; son productivos debido a su alta fertilidad, formados a partir de sedimentos minerales, con cobertura vegetal predominante de gramíneas y dominancia de arcillas. A nivel general se puede decir que los tipos de suelos que conforman el cantón Ibarra, se encuentran influenciados por las características geomorfológicas que compone esta unidad territorial, pero que a su vez se ven afectados por las condiciones climáticas, como la precipitación y temperatura, que otorgan a los suelos mayor o menor aptitud para el desarrollo de actividades agropecuaria (GAD-I, 2015).

- **Cobertura vegetal**

En el cantón Ibarra se encuentran diferentes usos de suelo y cobertura vegetal, los cuales se relacionan directamente con las características propias de la tierra que corresponden a: bosques, áreas erosionadas, cultivos de pasto, matorrales, zonas urbanas, páramo y cuerpos de agua, así lo indica el (GAD-I, 2015).

- **Factores climáticos**

De acuerdo con el GAD-I (2015), la temperatura promedio en el cantón Ibarra es de 18,4°C, con un máximo de 26,2°C y un mínimo de 5,9°C., en cuanto a humedad relativa, ésta se presenta con un 68%. Además, en el cantón existen cinco tipos de clima, de los cuales predominan: Ecuatorial Mesotérmico Semihúmedo y Ecuatorial de Alta Montaña.

3.2. Métodos

A continuación, se detalla las técnicas, índices, métodos y procedimientos que se utilizaron en el presente estudio.

3.2.1 Etapa I, Establecimiento del impacto de los materiales y productos básicos de la elaboración del hormigón en la sustentabilidad ambiental de la construcción de viviendas del conjunto residencial El Olam.

3.2.1.1 Cálculo del Índice de Productos Básico

Para el cálculo del índice de productos básicos se utilizó la siguiente metodología a partir del índice ISMA (Índice de Sensibilidad Medio Ambiental), correspondiente al método de la Instrucción de Hormigón Estructural (EHE, 2008) se obtuvo el Índice de Productos Básicos (IPB). Para su cálculo se analizó el contexto local, tanto las normativas de calidad ambiental (ISO 14001, 2004), como los medios y distancias de transporte.

El IPB se obtiene entonces como resultado de aplicar la siguiente expresión:

Ecuación 1. Índice de Productos Básicos

$$IPB = \left[\sum_{i=1}^n CC_{ni} * V_{ni} \right]$$

Ecuación 2. Índice de Productos Básicos desarrollado

$$IPB = \left[\sum_{i=1}^n CC_{Ai} * V_{Ai} \right] * \%_A + \left[\sum_{i=1}^n CC_{Bi} * V_{Bi} \right] * \%_B + \left[\sum_{i=1}^n CC_{Ci} * V_{Ci} \right] * \%_C$$

Dónde:

- **IPB:** Índice de productos básicos.
- **A, B y C:** Representan distintos tipos de hormigones donde se consideró hormigón prefabricado para lozas, un segundo hormigón mezclado en obra para columnas y contrapiso y un tercer hormigón también mezclado en obra para pisos, paredes y revestimiento de columnas o enlucido. En este caso, sería A: Hormigón para lozas y vigas, B: Hormigón para columnas y contra piso y C: Hormigón para pisos, paredes y revestimiento de columnas.
- **%A, %B y %C:** Cantidad relativa de cada tipo de hormigón con respecto al total.
- **CCi:** Coeficiente compuesto, correspondiente a cada tipo de hormigón, así como también a las medidas para reducir los impactos.
- **Vi:** Coeficientes de valor obtenidos para cada criterio.

Coeficiente CCi

Es un coeficiente compuesto que permite valorar distintos aspectos que se relacionan con los materiales y las medidas en la reducción de impactos.

Ecuación 3. Coeficiente compuesto

$$CCi = \alpha_i * \beta_i * \gamma_i$$

Dónde:

α_i , β_i y γ_i : Coeficientes de ponderación de cada criterio. De acuerdo con la norma española EHE (Tabla 1).

Tabla 1. *Coeficiente de ponderación IPB*

| Coeficientes | | | | | | |
|--|-----------|---|------------|------------------------------|------|-------|
| α_i | Bi | | γ_i | <i>CCi</i> | | |
| Productos | 0,60 | Tipo y optimización de los recursos básicos | 0,55 | Caracterización del hormigón | 0,50 | 0,165 |
| | | | | Caracterización de acero | 0,50 | 0,165 |
| | | Preservación de recursos | 0,45 | Empleo de áridos reciclados | 0,40 | 0,108 |
| Medidas para reducir los impactos | 0,40 | Impacto en el entorno humano | 0,25 | Optimización del cemento | 0,60 | 0,162 |
| | | | | Control de impactos | 1,00 | 0,100 |
| | | Impacto en el ambiente | 0,75 | Gestión de residuos | 0,67 | 0,201 |
| | | | | Gestión del agua | 0,33 | 0,099 |

Fuente: Normas EHE, (2008).

Se utilizan los valores expuestos en la normativa española, pese a que se utilizan diferentes materiales no existe variación alguna al momento del cálculo de los coeficientes.

Determinación de los valores Vi

El valor de Vi se obtiene a partir del tipo de material, cantidad y calidad, distancia y tipo de transporte utilizado, multiplicando la puntuación correspondiente a cada ítem (Tabla 2) (Rumi et al., 2014).

Tabla 2. Determinación de los valores V_i para el IPB

| Caracterización del Hormigón | | $V_1 = P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14}$ (Ec. 5) | | |
|----------------------------------|-----------------------------|---|---------------------------------|----------------|
| Calidad: Cumple ISO 14000 | Si $\rightarrow P_{11} = 1$ | No $\rightarrow P_{11} = 0,7$ | | |
| Tipo de Hormigón | Prefabricado | Elaborado en planta externa | Elaborado en planta en obra | |
| | | $P_{12} = 1$ | $P_{12}=0,7$ | $P_{12} = 0,5$ |
| Transporte | Distancia | $P_{13} = 1,9846X^{-0.67}$ | $P_{13} = 3,158X^{-0.67}$ | $P_{13} = 1$ |
| | | X=distancia de transporte en KM | X=distancia de transporte en KM | |

Fuente: (Rumi *et al.*, 2014)

3.2.2 Etapa 2 Establecimiento del impacto relacionado al proceso constructivo, en la construcción de viviendas en el conjunto residencial El Olam

3.2.2.1 Cálculo del Índice del Proceso Constructivo

Para Rumi et, al. (2014) el “Índice del Proceso Constructivo” pondera los impactos producidos durante la construcción propiamente dicha en el lugar de emplazamiento de la obra. Para desarrollar este índice partieron del estudio de opiniones de expertos, utilizando la técnica cualitativa “grupo focal” o "grupo de discusión" (focusgroup). Se define como “Índice del Proceso Constructivo” de una construcción al resultado de aplicar la siguiente ecuación:

Ecuación 4. Índice del proceso constructivo

$$IPC = \sum_{i=1}^n Cp * (1 - \frac{I_i}{9})$$

dónde:

- Cp: Coeficiente de ponderación de cada impacto, tiene en cuenta la importancia relativa de cada impacto estudiado.
- Ii: Valor de los impactos.

Determinación de los impactos

Se evaluó cada impacto de acuerdo con las siguientes categorías:

- Intensidad: según la intensidad con la que actúe sobre el ambiente.
- Duración: Tiempo que el impacto o sus efectos permanecen en el ambiente.
- Extensión: Se considera la superficie afectada por el impacto.

La puntuación varió entre 0 y 3 en cada una de las categorías. Se puntuó 0 (cero) en el caso de considerar un impacto nulo o despreciable para la categoría analizada. Luego se puntuó 1 (uno) en los casos de impactos de baja magnitud, 2 (dos) en el caso de mediana magnitud, y 3 (tres) para un impacto de gran magnitud.

Impactos a evaluar

Los impactos a evaluar se clasifican de acuerdo con las siguientes categorías de análisis (Rumi *et al.*, 2015):

- Uso eficiente de la energía: Conjunto de acciones para optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y el producto final obtenido. Esto se puede lograr a través de la implementación de diversas medidas e inversiones a nivel tecnológico, de gestión y de hábitos culturales de los actores sociales involucrados en cumplimiento con la ley Orgánica de Eficiencia Energética.
- Gestión de residuos: Está relacionado con acciones normativas, operativas, financieras, de planificación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, considerando desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr: beneficios ambientales, la optimización económica de manejo y aceptación social, respondiendo a la realidad de cada lugar.
- Agua: Consumo de agua utilizado en la obra, en las instalaciones complementarias y dentro de las restantes obras que se desarrollen. También se pondera la afectación sobre las aguas subterráneas y superficiales.

- **Atmósfera:** Incidencia en la emisión a la atmósfera de contaminantes que pueden afectar a la salud de las personas expuestas. Entre estos contaminantes se destacan: el material particulado en suspensión presente en las obras y demoliciones, junto con los contaminantes propios de las emisiones del tráfico de vehículos, dentro de la obra y para abastecer a la misma. Considerando los siguientes valores (Tabla 3).

Tabla 3. *Coefficientes de ponderación para el IPC*

| IMPACTOS | | | CP | |
|------------------------|------------------------|----------------------------|------------------------|------|
| Uso eficiente del agua | Consumo de energía | Equipamiento móvil | 0,04 | |
| | | Máquinas /Herramientas | 0,05 | |
| | | Calefacción de oficinas | 0,05 | |
| | Iluminación de la obra | Consumo de energía | 0,03 | |
| | | Contaminación lumínica | 0,03 | |
| | Transporte | De carga | 0,05 | |
| | | De personal | 0,03 | |
| | | Hormigón/acero | 0,04 | |
| | Gestión de residuos | Obras Complementarias | Residuos de demolición | 0,05 |
| | | | Residuos de excavación | 0,03 |
| | | Instalación del obrador | 0,03 | |
| | | Residuos esp. / Peligrosos | 0,05 | |
| | | Residuos sólidos urbanos | 0,04 | |
| Agua | Consumo del agua | Consumo humano | 0,06 | |
| | | Consumo de horas | 0,06 | |
| | Afectación de agua | Aguas subterráneas | 0,06 | |
| | | Aguas superficiales | 0,06 | |
| Atmósfera | | Ruidos molestos | 0,05 | |
| | | Olores | 0,05 | |
| | Calidad del aire | Emisiones de GEI | 0,07 | |
| | | Material particulado | 0,07 | |

Fuente: (Rumi *et al.*, 2015)

Los impactos sobre cada medio se evaluaron sumando las puntuaciones correspondientes a las siguientes categorías (Tabla 4).

Tabla 4. Clasificación de los indicadores de sustentabilidad.

| Categorías | Descripción | Puntuación | | |
|---|---|---|--|---|
| | | 1 | 2 | 3 |
| Intensidad (I) | Según la intensidad con la que actué sobre el ambiente | Bajo: para un impacto cuyo efecto producirá un perjuicio limitado en el sector afectado | Medio: Para un impacto cuyo efecto producirá una destrucción o desaparición del factor en la zona. | Alto: Para un impacto cuyo efecto implique una destrucción casi total del factor en la zona |
| Extensión (E) | Se considera la superficie afectada por el mismo | Inferior: Para un impacto en una superficie inferior a la extensión de la obra | Total: Para un impacto en una superficie similar a la extensión de la obra. | Superior: Para un impacto en una superficie superior a la extensión de la obra. |
| Duración (D) | Tiempo que el impacto o sus efectos permanecen en el ambiente | Inferior: Para un impacto en un tiempo inferior a la duración de la obra. | Total: Para un impacto en un tiempo similar a la duración de la obra | Superior: Para un impacto en un tiempo mayor a la duración de la obra. |
| Se puntuará con cero en el caso de considerar un impacto nulo o despreciable | | | | |

Fuente: (Rumi *et al.*, 2015).

3.2.3 Etapa 3 Elaboración del Plan de Sustentabilidad

3.2.3.1 Indicadores de la Sustentabilidad

Mediante indicadores PER (Presión - Estado - Respuesta) y FPEIR (Fuerzas conductoras-Presión-Estado- Impacto-Respuesta) se analizó la sustentabilidad mediante una matriz Presión-Estado-Respuesta, dichos indicadores permitieron él estudio del desarrollo sostenible en la construcción del conjunto residencial El Olam, para proponer una serie de indicadores que permita conocer el estado y respuestas de la sostenibilidad ambiental de dicha actividad Figura 6) (Vázquez y García, 2018).

Los indicadores son un sistema de señales ordenadas y coherentes que permiten la evaluación y el progreso de un sitio, son herramientas que ayudan con el diseño y planificación de estrategias que permiten la evaluación de las políticas pública con el fin de fortalecer la toma de decisiones que impulsan el desarrollo sostenible de

una región. Debido a que las acciones antrópicas alteran el entorno los indicadores son parte del cambio positivo para minimizar estos impactos ambientales (Vázquez y García, 2018).

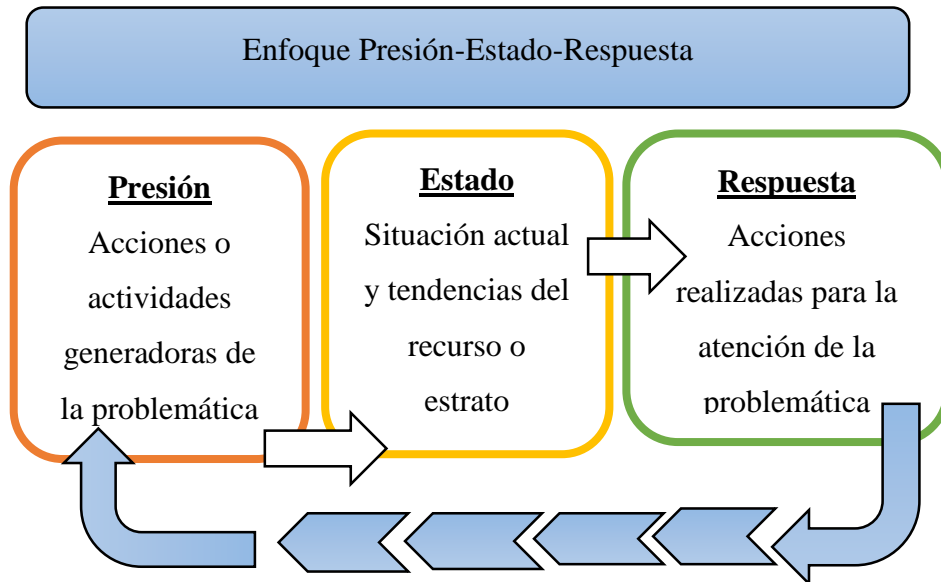


Figura 6. Esquema PER

Fuente: Elaboración propia con base en OCDE (1998)

El análisis PER y FPEIR trata sobre los vínculos que existen entre las condiciones ambientales y las actividades humanas que responde tres preguntas básicas: ¿Qué está ocurriendo con el ambiente? (Estado), ¿Por qué está ocurriendo? (Presión) y ¿Qué se está haciendo al respecto? (Respuesta) por lo tanto es un instrumento valioso que permite cuantificar y sistematizar la información relacionada con las distintas actividades que generan un gran impacto al ambiente (Figura 7) (Vázquez y García, 2018).

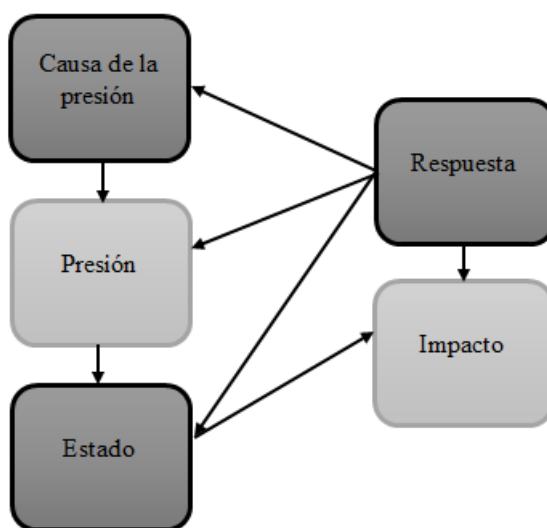


Figura 7. Modelo FPEIR El Olam
Fuente: Elaboración propia, 2020

Obtenidos los indicadores de sustentabilidad se analizó los factores importantes dentro de la construcción de los conjuntos habitacionales El Olam, se realizó un diagnóstico de la sostenibilidad, mediante una matriz DAFO (debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades), para posterior realizar el plan de sostenibilidad (Figura 8).

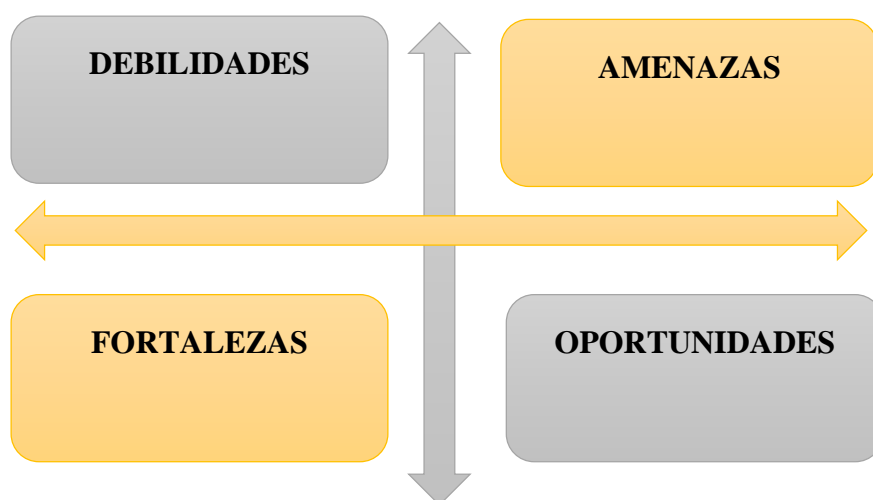


Figura 8. Esquema DAFO
Fuente: AECID, 2015

Estructura del Plan de Sustentabilidad

Permite que la información obtenida en campo se reestructure para realizar el plan de sostenibilidad mediante una matriz de factores de sostenibilidad que permitió obtener las actividades al momento de implementar el proyecto de construcción del conjunto habitacional “El Olam” (Tabla 5).

Tabla 5. *Matriz de Factores de Sustentabilidad*

| Factor de Sustentabilidad | Actividades | Responsables | Recursos humanos, Materiales y financieros | Mecanismos de control | Periodo | Prioridad |
|----------------------------------|--------------------|---------------------|---|------------------------------|----------------|------------------|
| Social | | | | | | |
| Ambiental | | | | | | |
| Económico | | | | | | |
| Técnico | | | | | | |

Fuente: AECID, 2015

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS

4.1. Identificación del IPB del hormigón utilizado en la construcción del conjunto residencial “El Olam”

A continuación, se presenta los resultados obtenidos en la caracterización del hormigón del conjunto residencial “El Olam” realizada la inspección, verificación en obra y seguimiento de los materiales se obtuvieron las siguientes características, a partir de las cuales se construyeron los respectivos índices.

Caracterización del Hormigón: Se consideraron 3 tipos de Hormigón. El tipo A para losas y vigas prefabricadas que posee una resistencia de 240 kg/cm^2 que es adquirido externamente. El Hormigón tipo B es utilizado para pisos y paredes posee una resistencia de 180 kg/cm^2 y es mezclado in situ mediante procesos mecánicos. El Hormigón tipo C posee una resistencia de 160 kg/cm^2 y también es mezclado in situ empleando procedimientos manuales, por lo tanto, cumplen con las normas NEC-SE-HM (Norma Ecuatoriana de la Construcción), NTE INEN 1855-1 (Norma Técnica Ecuatoriana) y NTE INEN 1855-2 y es transportado en camión desde la Hormigonera Imbabura recorriendo una distancia de 6,4 Km.

Se Sustituyen los Valores

Ecuación 5. Valores del hormigón A, B, C

| Tipo A | Tipo B | Tipo C |
|--------------------|---------------------|---------------------|
| $V_1 = 1.1.0,57.1$ | $V_1 = 0,7.0,5.1.1$ | $V_1 = 0,7.0,5.1.1$ |
| $V_1 = 0,57$ | $V_1 = 0,35$ | $V_1 = 0,35$ |

Caracterización del acero: Se consideró acero adquirido en Nova Cero, el cual da cumplimiento a las normas ISO 14000 y es transportado en camiones recorriendo una distancia de 195 Km. Sustituyendo valores en la ecuación 5.

Ecuación 6. Caracterización del acero.

$$V_2 = 1.0,58.0,7$$

$$V_2 = 0,41$$

Empleo de áridos reciclados: Para el Hormigón tipo A se consideró un empleo de áridos reciclados en la Hormigonera Imbabura de 4%, el porcentaje total en peso para el Hormigón tipo A es de 65,52% y es transportado en camión desde la Hormigonera Imbabura recorriendo una distancia de 6,4 Km.

Para el Hormigón tipo B se consideró un empleo de áridos reciclados en obra del 2%, el porcentaje total en peso para el Hormigón tipo B es de 20,95%.

Para el Hormigón tipo C se consideró un empleo de áridos reciclados en obra del 1%, el porcentaje total en peso para el Hormigón tipo C es de 13,53%. Sustituyendo valores en la ecuación 6 se obtiene:

Ecuación 7. Valores para los tipos de hormigón

| Áridos reciclados para Hormigón Tipo A | Áridos reciclados para Hormigón Tipo B | Áridos reciclados para Hormigón Tipo C |
|---|---|---|
| $V_3 = 0,0024.1.1,69.1$ | $V_3 = 0,0038.0,7.21,87.1$ | $V_3 = 0,0029.0,7.21,87.1$ |
| $V_3 = 0,004$ | $V_3 = 0,0581$ | $V_3 = 0,044$ |

Optimización del Cemento: La normativa INEN NTE recomienda el uso de Hormigón con resistencia de 240kg/cm² para dar cumplimiento en el Hormigón tipo A se debe emplear 7 quintales de cemento por m³ de Hormigón y es trasladado en camión una distancia de 28 Km.

Para el hormigón tipo B con resistencia de 180kg/cm² mezclado en obra y trasladado en camión una distancia de 28 Km se empleó 5,25 quintales de cemento.

Para el hormigón tipo C con resistencia de 140kg/cm² mezclado en obra y trasladado en camión una distancia de 28 Km se empleó 4,08 quintales de cemento. Sustituyendo valores en la ecuación 7.

Ecuación 8. Valores para la cantidad de cemento para el hormigón.

| Cantidad de cemento para Hormigón Tipo A | Cantidad de cemento para Hormigón Tipo B | Cantidad de cemento para Hormigón Tipo C |
|---|---|---|
| $V_4 = 0,5191.1.2,13.1$ | $V_4 = 0,3893.0,7.2,13.1$ | $V_3 = 0,3028.0,7.2,13.1$ |
| $V_4 = 1,10$ | $V_4 = 0,58$ | $V_4 = 0,45$ |

Adicionalmente se evaluó la aplicación de determinadas medidas para reducir los impactos, asignándole una puntuación tomada de IMRI (Tabla6).

Tabla 6. *Medidas para reducción de impactos*

| Sub ítem | Puntuación | |
|----------------------------|-------------------|------------------|
| | Positivas | Negativas |
| Control de impactos | 0,2 | 0 |
| Gestión de residuos | 1 | 0 |
| Gestión del agua | 0,5 | 0 |

Fuente: (Rumi et al.,2014)

La sumatoria de las puntuaciones se multiplicó por el coeficiente de ponderación correspondiente a cada sub-ítem, tal como se indica a continuación (Tabla 7)

Tabla 7. Coeficiente de ponderación

| Productos | | | | | |
|---|--|--|-----------------|--------|--------|
| Tipo y optimización de productos básicos | Caracterización del Hormigón Tipo A | | | CC_1 | V_1 |
| | Calidad | | $P_{11}=1$ | 0,165 | 0,094 |
| | Tipo | | $P_{12}=1$ | | |
| | Transporte | Distancia | $P_{13}=0,57$ | | |
| | | Tipo | $P_{14}=1$ | | |
| | Caracterización de las Armaduras | | | CC_2 | V_2 |
| | Calidad | | $P_{21}=1$ | 0,165 | 0,068 |
| | Transporte | Distancia | $P_{22}=0,58$ | | |
| | | Tipo | $P_{23}=0,7$ | | |
| | Optimización de recursos | Reciclado de áridos del Hormigón Tipo A | | | CC_3 |
| Cantidad | | | $P_{31}=0,0024$ | 0,108 | 0,0004 |
| Calidad | | | $P_{32}=1$ | | |
| Transporte | | Distancia | $P_{33}=1,69$ | | |
| | | Tipo | $P_{34}=1$ | | |
| Optimización del Cemento para el Hormigón Tipo A | | | CC_4 | V_4 | |
| Cantidad | | | $P_{31}=0,5191$ | 0,162 | 0,1782 |
| Calidad | | | $P_{32}=1$ | | |
| Transporte | | Distancia | $P_{33}=2,13$ | | |
| | | Tipo | $P_{34}=1$ | | |

Tabla 8. Coeficiente de Ponderación

| Productos | | | | | |
|---|--|--|-----------------|--------|--------|
| Tipo y optimización de productos básicos | Caracterización del Hormigón Tipo B | | | CC_1 | V_1 |
| | Calidad | | $P_{11}=0,7$ | 0,165 | 0,057 |
| | Tipo | | $P_{12}=0,5$ | | |
| | Transporte | $P_{13}=1$ | $P_{13}=0,57$ | | |
| | | $P_{14}=1$ | $P_{14}=1$ | | |
| | Caracterización de las Armaduras | | | CC_2 | V_2 |
| | Calidad | | $P_{21}=1$ | 0,165 | 0,068 |
| | Transporte | Distancia | $P_{22}=0,58$ | | |
| | | Tipo | $P_{23}=0,7$ | | |
| | Optimización de recursos | Reciclado de áridos del Hormigón Tipo B | | | CC_3 |
| Cantidad | | | $P_{31}=0,0038$ | 0,108 | 0,006 |
| Calidad | | | $P_{32}=0,7$ | | |
| Transporte | | $P_{33}=21,87$ | $P_{33}=1,69$ | | |
| | | $P_{34}=1$ | $P_{34}=1$ | | |
| Optimización del Cemento para el Hormigón Tipo B | | | CC_4 | V_4 | |
| Cantidad | | | $P_{31}=0,3893$ | 0,162 | 0,093 |
| Calidad | | | $P_{32}=0,7$ | | |
| Transporte | | $P_{33}=2,13$ | $P_{33}=2,13$ | | |
| | | $P_{34}=1$ | $P_{34}=1$ | | |

Tabla 9. Coeficiente de ponderación

| Productos | | | | | | |
|--|---|----------------|-----------------|---------------|-------|--|
| Tipo y optimización de productos básicos | Caracterización del Hormigón Tipo C | | | CC_1 | V_1 | |
| | Calidad | | $P_{11}=0,7$ | 0,165 | 0,057 | |
| | Tipo | | $P_{12}=0,5$ | | | |
| | Transporte | Distancia | | $P_{13}=1$ | | |
| | | Tipo | | $P_{14}=1$ | | |
| | Caracterización de las Armaduras | | | CC_2 | V_2 | |
| Calidad | | $P_{21}=1$ | 0,165 | 0,068 | | |
| Transporte | Distancia | | $P_{22}=0,58$ | | | |
| | Tipo | | $P_{23}=0,7$ | | | |
| Optimización de recursos | Reciclado de áridos del Hormigón Tipo C | | | CC_3 | V_3 | |
| | Cantidad | | $P_{31}=0,0029$ | 0,108 | 0,004 | |
| | Calidad | | $P_{32}=0,7$ | | | |
| | Transporte | $P_{33}=21,87$ | | $P_{33}=1,69$ | | |
| | | $P_{34}=1$ | | $P_{34}=1$ | | |
| | Optimización del Cemento para el Hormigón Tipo B | | | CC_4 | V_4 | |
| | Cantidad | | $P_{31}=0,3028$ | 0,162 | 0,072 | |
| | Calidad | | $P_{32}=0,7$ | | | |
| | Transporte | $P_{33}=2,13$ | | $P_{33}=2,13$ | | |
| | | $P_{34}=1$ | | $P_{34}=1$ | | |

Para los % del Hormigón A, B y C se consideraron los siguientes valores suministrados por la Constructora del Conjunto el Olam

Tabla 10. Valores de porcentajes del hormigón A, B Y C.

| Tipo de Hormigón | unidad | Cant. |
|--|--------------|--------------|
| Hormigón simple en replantillos $f^c=140\text{ Kg/cm}^2$ | m^3 | 1,90 |
| Hormigón ciclópeo en cimentación | m^3 | 5,00 |
| Hormigón simple en cadenas inferiores $f^c=210\text{ Kg/cm}^2$ inc. Encofrado | m^3 | 2,45 |
| Hormigón simple columnas $f^c=210\text{ Kg/cm}^2$ inc. Encofrado | m^3 | 7,30 |
| Hormigón en losa $f^c=210\text{ Kg/cm}^2$ inc. Encofrado | m^3 | 18,10 |
| Contrapiso de h. simple $f^c=180\text{ Kg/cm}^2$ | m^3 | 7,70 |
| Hormigón extra para otros trabajos | m^3 | 3,00 |
| | | Total: |
| | | 51.05 |
| | | m^3 |

Se obtuvo

% de Hormigón tipo A= 65,52

% de Hormigón tipo B= 20,95

% de Hormigón tipo C= 13,53

Una vez calculada la sumatoria para los índices CCI y VVi se sustituyen en la Ec (2) y se obtiene:

$$IPB = 0,13 + 0,10 + 0,07 = 0,30$$

Analizando los procesos para obtener hormigón en sus diferentes resistencias, podemos afirmar lo que nos manifiesta Li *et al.* (2010). Los áridos constituyen el principal componente del hormigón ocupando entre un 60 y 75 % del volumen total y la extracción de este ha causado considerables problemas en el entorno de donde es extraído además de las partículas de polvo y otras sustancias que se generan causando alteración al aire.

Bajo este mismo contexto y profundizando el análisis Videla (2001) manifiesta que la extracción de los áridos ha causado problemas de erosión a nivel mundial debido a la deforestación extensiva además de causar déficit de estos materiales que son un compuesto principal del hormigón siendo este uno de los materiales de construcción más utilizados en el mundo.

Además, los materiales de construcción inciden en el ambiente a lo largo de su ciclo de vida, desde la extracción y procesado de materias primas; el impacto producido por las canteras, así como las graveras en el paisaje, provocan la modificación topográfica, pérdida de suelo, contaminación atmosférica y acústica (Ruiz y Núñez, 2016). Las obras constructivas de edificios; generan impactos ambientales importantes que incluyen aspectos derivados de la utilización de materiales que provienen de recursos naturales y la utilización de grandes cantidades de energía (Alavedra *et al.*, 1997).

Otro un producto básico de gran impacto que es empleado en la fabricación de hormigón es la producción de cemento portland, emana de gran cantidad de CO₂ (Naik & Moriconi, 2005). La producción de 1 tonelada de Clinker de cemento portland requiere aproximadamente 4 Giga Joule (GJ) de energía, y su fabricación libera aproximadamente 1tonelada de dióxido de carbono y otros gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera (Ivanega, 2009).

4.2. Establecimiento del impacto relacionado al proceso constructivo, en la construcción de viviendas en el conjunto residencial El Olam.

Determinación de los impactos

La obtención del Índice del Proceso Constructivo (IPC), aplicando la ecuación 9 (Tabla 11).

Ecuación 9. Índice de Proceso Constructivo.

$$Ii = \frac{I_f + I_b + I_a}{3}$$

Tabla 11. Índice del proceso constructivo

| Índice del Proceso Constructivo | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------|---------------------------------|------|------|--------------|------|
| Categorías de análisis | | Medios Evaluados | | | Totales | |
| | | F | B | A | | |
| Uso eficiente de la energía | Equipamiento móvil | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | |
| | Consumo de energía | Máquinas / Plantas Industriales | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,08 |
| | Herramientas | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,06 | |
| | Consumo de energía | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | |
| Iluminación de la Obra | Contaminación lumínica | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | |
| Totales | | | | | IPC: 0.80 | |

Fuente: (Rumi et al., 2015)

Mediante la investigación realizada, a través de observar y evaluar podemos asegurar lo que nos manifiesta Li *et al.* (2010) por su naturaleza la construcción no es considerada un proceso amigable con el ambiente, ya que dentro de las actividades industriales la actividad constructora es la mayor consumidora de

recursos naturales como: madera, minerales, agua y energía y no naturales como áridos, hierro y combustible.

Un aspecto de gran importancia en el estudio de índice de construcción es: la transformación innata del paisaje según Aledo, (2008), se logra considerar que las actuaciones urbanísticas conllevan fuertes transformaciones del territorio, afecciones al paisaje y a los ecosistemas locales, elevados consumos de recursos naturales y fuertes externalidades en forma de residuos sólidos urbanos. Por tal motivo Acosta, (2009), corrobora que al ser transformados en materia prima para su incorporación a la producción y al ciclo de vida de las edificaciones, éstos generan desechos y residuos en forma de gases, calor y escombros, ocasionando pérdida de recursos naturales, contaminación y desechos tóxicos, originando costos adicionales por el material que se pierde.

Ponderación de la sustentabilidad

Para ponderar la contribución de la estructura a la sustentabilidad, finalmente se ensamblaron las dos vías evaluadas obteniendo un solo índice, llamado Índice de Sustentabilidad del Hormigón (ISH):

$$ISH = 0.5 \cdot IPB + 0.5 \cdot IPC \text{ Ec (11)}$$

Sustituyendo

$$ISH = 0.5 \cdot 0,30 + 0.5 \cdot (0,80)$$

$$ISH = 0.55$$

se tomaron cinco niveles, los cuales se varían entre los siguientes rangos del índice ISH:

- Nivel A: $0,81 \leq ISH \leq 1,00$
- Nivel B: $0,61 \leq ISH \leq 0,80$
- Nivel C: $0,41 \leq ISH \leq 0,60$
- Nivel D: $0,21 \leq ISH \leq 0,40$
- Nivel E: $0,00 \leq ISH \leq 0,20$

Estos valores bajo la metodología seguida, permitieron encontrar el índice sustentabilidad se que se localizó en el lugar de la construcción, el valor de 0.55 en la escala del ISH, nos encontramos en el nivel C, esto se debe al gran impacto ambiental que genera este tipo de actividad, los efectos que ocasiona el uso de hormigón, según la metodología practicada y aplicada Rumi *et al.* (2014).

Además podemos precisar y bajo el índice obtenido, debemos dar la importancia y es objeto de nuestro estudio: puede fabricarse, transportarse a la obra y colocarse, tiene las condiciones idóneas para colocarlo con facilidad en los encofrados y compactar adecuadamente, luego que termina el proceso de fraguado el hormigón se encuentra en un estado endurecido y se requiere que en este estado el hormigón alcance la resistencia requerida para someterlo a los esfuerzos previstos, además que por su costo y su fácil manipulación es el material de mayor accesibilidad al momento de construir, por lo tanto obtener alternativas sustentables para minimizar el impacto de todos temas expuestos es importante para la elaboración del plan de sustentabilidad (Fonseca, 2015).

PLAN DE SUSTENTABILIDAD DEL HORMIGÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES, CONJUNTO RESIDENCIAL “EL OLAM”

El Olam es un conjunto residencial de 32 casas, las cuales se encuentran ubicadas en parte central de la ciudad de Ibarra, frente al parque Ciudad Blanca cerca al periférico sur de la ciudad. Es un proyecto con viviendas independientes que cuenta con diseños minimalistas y áreas verdes. La constructora Camacho es la responsable del proyecto El Olam, a cargo del señor Luis Camacho Llumiugsi, Gerente de la Constructora.

OBJETIVO

Identificar las debilidades y los impactos que muestra la industria de la construcción en conjuntos habitacionales de viviendas multifamiliares, además de los materiales ecológicos alternativos de la misma calidad y resistencia, utilizados en construcciones sustentables.

META

Reducir la huella ecológica en las construcciones de conjuntos habitacionales de viviendas multifamiliares.

INDICADORES

La industria de la construcción es de las actividades que más impactos ambientales genera al medio ambiente, ya que hay alteración de los recursos suelo, agua, aire y vegetación, se ha seleccionado indicadores críticos en cada factor a estudiar en base a características especiales a la actividad de la construcción de conjuntos habitacionales y que pueden ser determinantes en la sustentabilidad (Tabla 12).

Tabla 12. *Matriz de indicadores de sustentabilidad*

| SOSTENIBILIDAD | INDICADORES | PUNTUACIÓN | JUSTIFICACIÓN |
|-----------------------|--------------------|-------------------|---|
| Social | Intensidad | 1 | En la parte social es más beneficioso ya que se trata de un buen vivir |
| | Extensión | 2 | El cambio es mínimo y más beneficioso para la sociedad |
| | Duración | 2 | Esta actividad permite que cierto sector se beneficie de la duración de la actividad un antes y después |
| Ambiental | Intensidad | 3 | La actividad tiene un gran impacto ambiental por la destrucción de los recursos y por la generación de residuos |
| | Extensión | 3 | Cambio drástico del paisaje, afectación de flora y fauna |
| | Duración | 3 | La actividad puede dejar pasivos ambientales |
| Económico | Intensidad | 1 | No hay mayor impacto |
| | Extensión | 1 | No hay mayor impacto |
| | Duración | 1 | No hay mayor impacto |
| Técnico | Intensidad | 1 | No hay mayor impacto |
| | Extensión | 2 | No hay mayor impacto |
| | Duración | 1 | No hay mayor impacto |

Fuente: Obtenido de AECID, 2015

A partir de la información obtenida, se elaboró una matriz DAFO para resumir las Debilidades, Amenazas, Fortalezas y Oportunidades que muestra la industria de la construcción para conjuntos habitacionales, los indicadores menos puntuados fueron los puntos que se reforzaron y los más puntuados revela la fortaleza de la actividad (Figura 9).

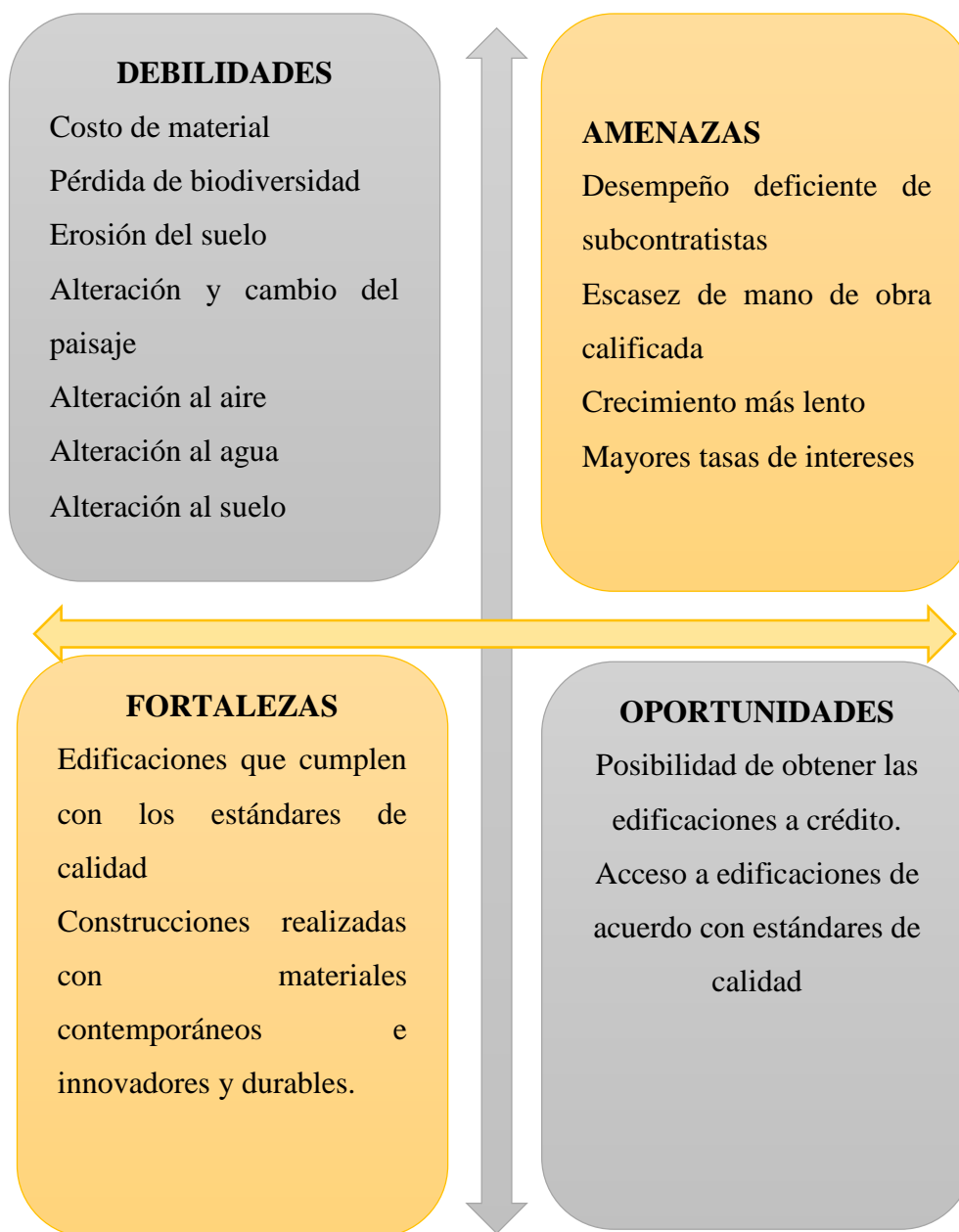


Figura 9. Modelo DAFO para el conjunto habitacional El Olam

Fuente: Adaptada de AECID, 2015

Procesada la información se ha analizado las respuestas por lo tanto los indicadores se muestran en la aplicación del Indicador PER para la construcción de conjuntos habitacionales El Olam, mediante la aplicación de la matriz PER (Tabla 13) (Figura 10).

Tabla 13. Enfoque PER (Presión-Estado-Respuesta) de la construcción El Olam

| COMPONENTE | PRESIÓN | ESTADO | RESPUESTA |
|---|---|--|--|
| TIPOS DE COMPONENTE DE SUSTENTABILIDAD | ACTIVIDADES QUE GENERAN IMPACTO POR COMPONENTE | RESULTADOS DE IMPACTO AMBIENTAL Y ANÁLISIS DE SUSTENTABILIDAD | ACTIVIDADES PARA MEJORAR EL ESTADO PRESENTADO |
| TÉCNICO-CONSTRUCCIÓN | Explotación excesiva de recursos naturales | Alta | Una mejor planificación al momento de realizar la obra |
| | Transformación de los recursos naturales | Alta | Planificación ambiental |
| | Afectación a la capa orgánica del suelo | Alta | Acciones para mitigar los impactos al suelo |
| | Inadecuado manejo de residuos | Alta | Capacitación del manejo adecuado de residuos |
| AMBIENTAL | Afectación por material particulado al aire | Media-Alta | Aplicar tecnologías para mitigar la afectación al aire |
| | Degradación de los ecosistemas y biodiversidad | Alta | Planificación de los recursos del territorio |
| SOCIAL | Viviendas adaptadas al confort de las personas | Alta | Aplicar tecnologías limpias y sustentables para cada vivienda |
| | Mejora del nivel de bienestar social | Alta | Planeación urbanística y aprovechamiento del espacio público. |
| | Afectación a las zonas aledañas por el impacto de la construcción | Alta | Remediar los daños ocasionados que afectan a las poblaciones aledañas |
| ECONÓMICO | Generación de empleo | Alta | Crecimiento económico, metodologías en ayuda de la mano de obra no calificada. |
| | Costo del material de construcción excesivo | Alta | Material de calidad sustentable y económico para las construcciones. |

Fuente: Adaptada de AECID, 2015

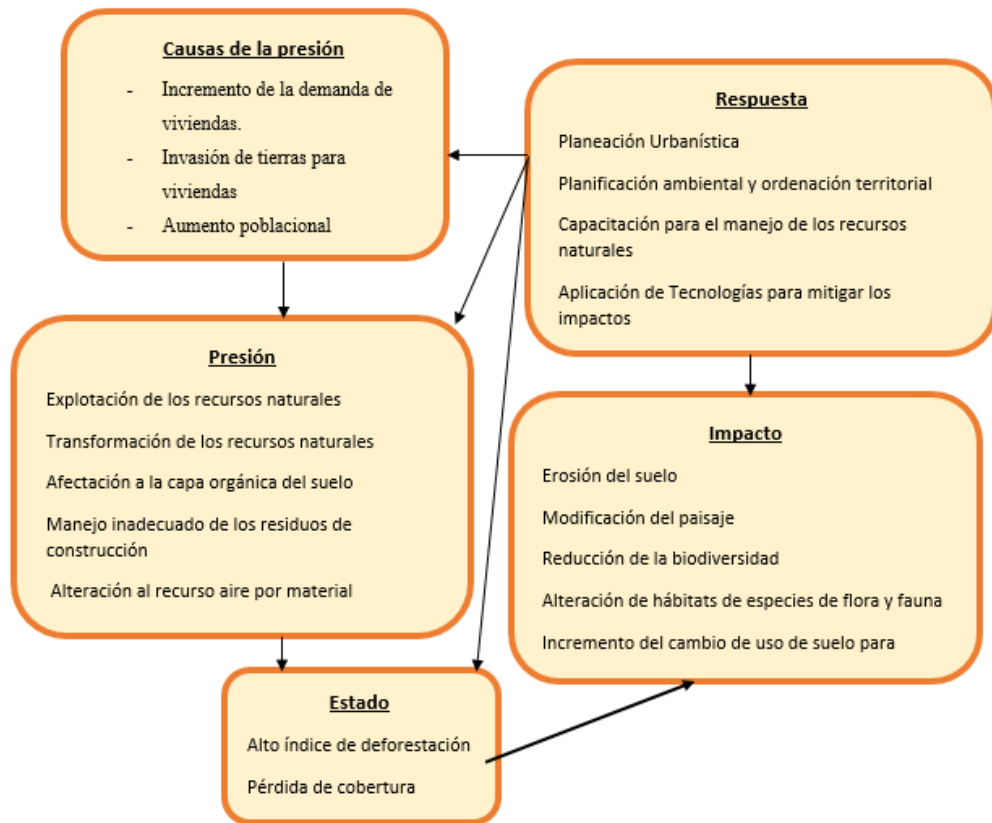


Figura 10. Modelo FPEIR de la construcción El Olam

Fuente: Elaboración propia, 2020

Alternativas de materiales ecológicos para construcciones

La industria de la construcción es muy importante para el desarrollo de la sociedad, a su vez es de las actividades que genera impacto por la cantidad de residuos que origina, la contaminación, el cambio al paisaje y el consumo excesivo de energía produce un gran impacto al entorno, de ahí la necesidad de buscar alternativas ecológicas para minimizar los impactos ambientales además mediante la investigación realizada se obtuvo información de materiales óptimos, económicos y amigables con el ambiente para ser utilizados en esta actividad por lo tanto es una alternativa sostenible para este tipo de actividad de construcción (Agudelo, Hernández y Cardona, 2012). Por lo tanto, a continuación, se menciona las

alternativas de materiales ecológicos que pueden ser utilizados para ocupar en la industria de la construcción.

Ladrillo Ecológico a base de PET

Una alternativa a los materiales de la construcción es utilizar desechos sólidos para crear materiales económicos y ecológicos amigables con el ambiente, el propósito de estos materiales es construir viviendas económicas y reducir los residuos, escombros que se obtiene de las construcciones (López y Rojas, 2019). La composición de los residuos generados se compone principalmente por cartón, papel, metal y vidrio mismos que durante su ciclo de vida está causando presión sobre la capacidad de los rellenos sanitarios y desperdiciando materia prima y energía (Ministerio del Ambiente Ecuador [MAE], 2015).

Utilizar materiales reciclados para mitigar el impacto ambiental que produce la actividad de la construcción, ya que es una alternativa económica y ecológica permitiendo la construcción de casas más baratas y resistentes. La innovadora idea de realizar ladrillos a base de PET permite reusar los desechos sólidos y minimizar los impactos ambientales (López y Rojas, 2019).

Una tonelada de PET reciclado equivale a un ahorro de 4.44 barriles de petróleo, 3.2 toneladas de CO₂ no emitidas, 25 a 35 metros cúbicos de espacio ahorrado en rellenos sanitarios o botaderos y 6.3 kilocalorías por kilogramo de poder calorífico de PET, lo que lo vuelve un combustible alternativo (Ecología y Compromiso Empresarial [ECOCE], 2019). Por lo tanto, es un gran beneficio al ecosistema el reciclaje de material PET siendo una alternativa rentable.

Un ladrillo ecológico es un material realizado con distintos desechos generados por la población, es una alternativa estratégica que tiene diversas ventajas tanto económicas como ambientales, ya que la elaboración de este material no requiere de personal y maquinaria especializada, puede ser realizado por cualquier persona

e incluso realizado por instituciones amigables con el ambiente (López y Rojas, 2019).

La calidad y resistencia de un ladrillo ecológico se basa en normativas que garantizan la resistencia y apariencia que deben estar sanas, sin fisuras ni otros defectos para evitar que interfieran o perjudiquen la permanencia de la construcción, además que este tipo de material se utiliza en bloques estructurales y no estructurales por eso la importancia de que las piezas deben estar en buen estado para evitar alguna afectación a la resistencia de las unidades y causar daños en la construcción (López y Rojas, 2019).

Cáñamo material alternativo en las industrias de la construcción

El cáñamo es una subespecie del cannabis, no posee efectos psicoactivos como la marihuana, pero puede ser utilizado como materia prima en diferentes sectores de la industria. Es una alternativa económica y ecológica ya que se utiliza una planta y sus derivados para el reemplazo de materiales que generan impactos (Ámbito, 2020). De acuerdo con varios activistas el cáñamo es capaz de reemplazar casi cualquier derivado del petróleo.

El cáñamo es una especie que no necesita plaguicidas para poder ser obtenida, pero si es una especie de gran utilidad ambiental, ya que puede capturar 22 toneladas de carbono atmosférico por hectárea además de ser un gran fitorremediador que tiene la capacidad de extraer sustancias tóxicas de tierras contaminadas, además de permitir controlar la erosión y remediar las tierras improductivas por sus cualidades de agricultura regenerativa (Ámbito, 2020).

El Hempcrete por su palabra en inglés, es un tipo de concreto realizado a base de cáñamo y cal que tiene resistencia al fuego, al moho y a la humedad además de ser más liviano que el concreto regular. Este material es ecológico y de cierta manera económico a comparación del concreto regular el potencial de este material es que

puede ser más fuerte que el concreto común y captura carbono atmosférico mientras se seca, siendo una de las mejores alternativas sustentables en la industria de la construcción (Deangelo, 2020).

El cáñamo es un material que puede ser utilizado de varias maneras puede ser utilizado sin fines estructurales, como aislante térmico y acústico ya que es fuerte debido a que sus fibras son más resistentes que el acero (Linton, 2020). Este material ha sido utilizado en reemplazo del plástico en varios sectores como el automotriz en el que varios de sus modelos de autos eléctricos poseen un cuerpo construido con bioplástico de cáñamo y corre a partir de biocombustible realizado a partir de cannabis.

El cáñamo posee infinitas aplicaciones desde material fuerte y resistente en la industria de la construcción, textil además en industrias dedicadas a la elaboración de plástico un material renovable y biodegradable, el cáñamo es una alternativa renovable de producción a gran escala y que en un futuro puede superar el uso del petróleo cuya disponibilidad tiene los días contados (Linton, 2020).

CAPÍTULO V

5.1. Conclusiones

El Índice de Productos Básicos (IPB), aplicado al hormigón desde la composición, hasta el empleo final, determinó mayor abundancia de áridos, demostrando que no es sustentable, en la industria de la construcción.

El Índice de Proceso Constructivo (IPC) a diferencia del anterior índice se enfoca en valorar in situ, como la construcción afecta en los medios físico, biótico y antrópico, determinando que hay alto consumo de energía e inadecuada gestión de residuos, agua y contaminación atmosférica.

En relación con el resultado obtenido en el $IPC+IPB=ISH$, la construcción de viviendas multifamiliares elaboradas a partir de hormigón no es sustentable, debido a que el índice da un nivel C que es igual o mayor a 0.55 y esto responde, al uso de materiales y procesos convencionales que no genera innovación en esta industria.

El plan de sustentabilidad propone alternativas para disminuir impactos negativos al ambiente, tanto en materiales y procesos para la construcción, sin perder el enfoque de habitabilidad y confort, las sugerencias se podrían aplicar a futuras construcciones.

5.2. Recomendaciones

Dar continuidad a la presente investigación en futuros trabajos académicos mediante el estudio exhaustivo de materiales alternativos propuestos, de manera especial el cáñamo, con la finalidad de demostrar en territorio, que existen alternativas para disminuir el impacto ambiental y generar estructuras de calidad.

Sensibilizar la voluntad política de autoridades que promuevan el empleo de materiales sustentables así como, lo demuestran los resultados y propuestas obtenidas en la presente investigación, a través de una política pública encaminada a incentivos, para las empresas y personas naturales que practiquen construcción sustentable, principalmente en las viviendas de interés social.

Se recomienda aplicar este tipo de índices de sustentabilidad en diferentes ámbitos de la industria para proponer alternativas en la sustitución de materiales y procesos que generan impactos negativos al ambiente, promoviendo el aprovechamiento sustentable y la racionalización de los recursos naturales.

REFERENCIAS

- Abril, M., Martín, A., y Ospina, J. (2007). Crecimiento poblacional y políticas públicas. *APUNTES DEL CENES*, 15.
- Acosta, D. (2009). Arquitectura y construcción sostenibles: Conceptos, Problemas Y Estrategias. *Dearq*, (4), 14-23. <https://doi.org/10.18389/dearq4.2009.02>
- Agudelo, H., Hernández, A., y Cardona, D., (2012). Sostenibilidad: Actualidad y Necesidad en el sector de la Construcción en Colombia. *Gestión y Ambiente*, 15(1), 105-118.
- Ahern, J. (2013). Urban landscape sustainability and resilience: the promise and challenges of integrating ecology with urban planning and design. *Landscape ecology*, 28(6), 1203-1212.
- Alavedra, P., Domínguez, J., Gonzalo, E., y Serra, J. (1997). La construcción sostenible: El estado de la cuestión. *Informes de la Construcción*, 49(451), 41-47. <https://doi.org/10.3989/ic.1997.v49.i451.936>
- ALCOPANT. (2013). Boletín Técnico N° 7: Sostenibilidad en la construcción. 7. Brasil. Recuperado el 07 de 05 de 2020, de <http://alconpat.org.br/wp-content/uploads/2012/09/B7-Sustentabilidade-na-Constru%C3%A7%C3%A3o.pdf>
- Aledo, A. (2008). De la tierra al suelo: La transformación del paisaje y el nuevo turismo residencial. *Arbor*, 184(729), 99-113. <https://doi.org/10.3989/arbor.2008.i729.164>

- Àrea Metropolitana del Valle de Aburra. (2010). Manual de Gestión Socio-Ambiental para obras en Construcción. (Tomado de la publicación del Área Metropolitana del Valle de Aburra). Recuperado 3 de septiembre de 2019, de <http://mesaambientalitagui1.blogspot.com/2016/04/manual-de-gestion-socio-ambiental-para.html>
- Aspiazu, y Espinoza, L. (2017). Impactos ambientales producidos por la construcción de vivienda a gran escala en la ciudad de Guayaquil. *Dominio de las Ciencias*, 3(3), 1066-1085.
- Bustos, F. (2016). *Manual de gestión y control ambiental* (Quinta). Recuperado de <http://biblioteca.espam.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=951>
- Carrion, F. (2001). *La ciudad construida. Urbanismo en América Latina* (Fernando Carrión Mena). Recuperado de http://works.bepress.com/fernando_carrion/108/
- Casanova, M. (2015, junio). Categorización ambiental nacional de proyectos, obras o actividades [Web Corporativa]. Recuperado 16 de septiembre de 2019, de Noboa, Peña & Torres website: <https://www.legalecuador.com/es/publicaciones/categorizacion-ambiental-nacional-de-proyectos-obras-o-actividades>
- Castro, M. (1999). Habitabilidad, medio ambiente y ciudad. *Ciudades*, 13(51), 10-18.
- Conesa, V. (1993). *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental* (Segunda). España: Mundi-Prensa Libros.

- Constitución de la República del Ecuador. *Constitución de la República del Ecuador.* , Pub. L. No. 449 (2008).
- Cordero, F. (2014). El gran desordenador urbano: La especulación. *Autonomías y ordenación territorial y urbanística: memorias IX simposio nacional de desarrollo urbano y planificación territorial, 2016, ISBN 978-9978-14-327-8*, págs. 176-191, 176-191. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6086209>
- De la Maza, C. (2007). *Evaluación de Impactos Ambientales*. Recuperado de <http://repositorio.uchile.cl/handle/2250/120397>
- Dubravic, A. (2015). *Quantification of Water Consumption during the Construction Process of Single-Family Housing Type. Minimization Strategies* (tercera). Recuperado de <https://idus.us.es/xmlui/handle/11441/59470>
- Enshassi, A., Kochendoerfer, B., y Rizq, E. (2014). Evaluación de los impactos medioambientales de los proyectos de construcción. *Revista ingeniería de construcción*, 29(3), 234-254. <https://doi.org/10.4067/S0718-50732014000300002>
- Escriche, M. (2006). Nuevo Urbanismo en la ciudad de Murcia. *Papeles de Geografía*, (44), 73-94.
- Espinoza, G. (2002). *Gestión y fundamentos de evaluación de impacto ambiental*. Santiago de Chile: BID Banco Interamericano de Desarrollo.
- FAO. (2012). Evaluación del impacto ambiental. *Roma*, 52.
- Fondo de Población de las Naciones Unidas [UNFPA]. (2014). *CIPD más allá de 2014 Compromisos globales de alto nivel*. 48. Recuperado de

/es/publications/cipd-m%C3%A1s-all%C3%A1-de-2014-compromisos-globales-de-alto-nivel

GAD-I. (2015). *Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra* (p. 369). Recuperado de Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de San Miguel de Ibarra website: http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PORTAL_SNI

García, E. (2008). *El Proceso de Expansión Urbana y su impacto en el uso del suelo y vegetación del Municipio de Juárez, Chihuahua* (tesis de pregrado), Colegio de la Frontera Norte, México.

GestaEcuador. (2017). *Estudio de Impacto Ambiental Expost Eternit Ecuatoriana S.A. Quito*. GestaEcuador.

González, J. (2008). *Manual para la evaluación de impacto ambiental de proyectos, obras o actividades* (tesis de pregrado). Universidad Pontificia Bolivariana.

Hernández, N., Ulloa, M., y Ferrer, Y. (2011). Impacto ambiental de la explotación del yacimiento de materiales de construcción El Cacao. *Minería y Geología*, 27(1), 38-53.

Hernández, S. (2008). Introducción al urbanismo sustentable o nuevo urbanismo. *Espacios Públicos*, 11(23), 298-309.

Instituto Nacional de Estadística y Censos [INEC]. (2012). Analítica: Edición especial. País atrevido: La nueva cara sociodemográfica del Ecuador. *Quito Instituto Nacional de Estadística y Censos*, 101 p.

Instituto Nacional de Estadísticas y Censos [INEC]. (2010). *Censo de población y vivienda 2010*. Quito.

Ivanega, M. M. (2009). *CONSTRUCCIONES URBANAS Y MEDIO AMBIENTE*.

14.

Johannesburgo. (2002, septiembre 4). Naciones Unidas: Cumbre de Johannesburgo

2002 [Web Corporativa]. Recuperado 16 de septiembre de 2019, de

Naciones Unidas website: <https://www.un.org/spanish/conferences/wssd/>

Li, X., Zhu, Y., y Zhang, Z. (2010). An LCA-based environmental impact

assessment model for construction processes. *Building and Environment*,

45(3), 766-775. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.010>

León, A. M. (2005). Teorías y conceptos asociados al estudio de las migraciones

internacionales. *Trabajo social*, (7), 59-76.

Mantilla, G. A., y Bello, A. M. (2002). Criterios para la evaluación de estudios

ambientales y para el seguimiento ambiental de proyectos. *Colombia*, 52.

Mercante, I. (2007). *Caracterización de residuos de la construcción. Aplicación de*

los índices de generación a la gestión ambiental (Vol. 11). Recuperado de

<http://dspace.uces.edu.ar:8180/xmlui/handle/123456789/152>

Moreno, S. (2008). La habitabilidad urbana como condición de calidad de vida.

Palapa, 3(2), 47-54.

Naciones Unidas. (2014). *Concise report on the world population situation in 2014*

(Department of Economic and Social Affairs). Recuperado de

<http://www.un.org/en/development/desa/>

Peltre, P., y Rodríguez, J. (1987). Problemas ambientales crecimiento urbano:

Casas de Manta y Latacunga. En *Geografía básica del Ecuador: 3.*

Geografía urbana: El espacio urbano en el Ecuador red urbana, región y

- crecimiento* (pp. 184-197). Recuperado de <http://www.documentation.ird.fr/hor/fdi:26868>
- Perevochtchikova, M. (2013). La evaluación del impacto ambiental y la importancia de los indicadores ambientales. *Gestión y política pública*, 22(2), 283-312.
- Pinto, S. (2007). Los estudios de impacto ambiental: Tipos, métodos y tendencias. *Escuela de Organización Industrial*. Recuperado de <https://www.eoi.es/es/savia/publicaciones/19904/los-estudios-de-impacto-ambiental-tipos-metodos-y-tendencias>
- Ramírez, A. (2002). La construcción sostenible. *Física y Sociedad*, 13(Energía. X Aniversario del Congreso Nacional del Medio Ambiente), 30-33.
- Ramírez, A., Sánchez, J., y García, A., (2003) El Desarrollo sustentable Interpretación y Análisis. *Revista centro de investigación* 21(6).
- REDATAM. (2017). Protegido: Sistema Integrado de Consultas (REDATAM). Recuperado 25 de septiembre de 2019, de Instituto Nacional de Estadística y Censos website: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/sistema-integrado-de-consultas-redatam/>
- Rueda, S. (1997). *Habitabilidad y calidad de vida* (pp. 361-370). Recuperado de Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid. website: <http://habitat.aq.upm.es/cs/p2/a005.html>
- Ruiz, J., y Núñez, H., (2016). Impactos ambientales producidos por el uso de maquinaria en el sector de la construcción. *Universidad Católica de Colombia*, 75.

- Salazar, A. (2011). *Los Escombros de Construcción, son Realmente un Problema Técnico*, Presentado en Cali. Recuperado de <https://docplayer.es/6006166-Los-escombros-de-construccion-son-realmente-un-problema-tecnico.html>
- Sbarato, D., Ortega, J., y Sbarato, V. (2007). *Planificación y gestión de los estudios de impacto ambiental/ Planning and management of environmental impact studies* (3.^a ed.). Editorial Brujas.
- Sistema Nacional de Información [SNI]. (2011). *El desempleo: Un breve análisis*. Quito, Ecuador.
- Terrazas, C., y Flores, E, (2008). Crecimiento Urbano disperso en la frontera norte de México. Organización espacial y eficiencia de los patrones de crecimiento urbano en la ciudad de Juárez, Chihuahua.12.
- Valarezo, A., (2008). *Ministro de trabajo y empleo*. 70.
- Videla, C., y Martínez, P. (2011). Áridos livianos de cenizas volantes para la construcción con hormigón sustentable. *Revista Ingeniería de Construcción*, 16(2), 99-104.
- Wilson, A., Chaffin, J., Uncapher, J., McManigal, L., Lovins, L., Browning, W., y Cureton, M. (1998). *Green Development: Integrating Ecology and Real Estate*. New York: John Wiley & Sons.
- Worldometers. (2019). World Population Clock: 7.7 Billion People (2019)—Worldometers. Recuperado 26 de julio de 2019, de Worldometers website: <https://www.worldometers.info/world-population/>
- Zega, C., Sosa, M., y Di Maio, Á. (2017). Hormigones reciclados: una alternativa para el desarrollo sustentable. In *IV Congreso Internacional Científico y Tecnológico-CONCYT 2017*.

ANEXOS

Anexo 1. Determinación de los valores Vi para el IPB

| Caracterización del Hormigón | | $V_1 = P_{11} \cdot P_{12} \cdot P_{13} \cdot P_{14}$ (Ec. 5) | | |
|--|------------------|---|---|-----------------------------|
| Calidad: Cumple ISO 14000 | | Si $\rightarrow P_{11} = 1$ | No $\rightarrow P_{11} = 0,7$ | |
| Tipo de Hormigón | Prefabricado | | Elaborado en planta externa | Elaborado en planta en obra |
| | | $P_{12} = 1$ | $P_{12} = 0,7$ | $P_{12} = 0,5$ |
| Transporte | Distancia | $P_{13} = 1,9846X^{-0.67}$ X=distancia de transporte en KM | $P_{13} = 3,158X^{-0.67}$ X=distancia de transporte en KM | $P_{13} = 1$ |
| | Tipo | Tren $\rightarrow P_{14} = 1$ Camión $\rightarrow P_{14} = 0,7$ Para distancias <100 Km $P_{14} = 1$ | $P_{14} = 1$ | $P_{14} = 1$ |
| Caracterización del acero | | $V_2 = P_{21} \cdot P_{22} \cdot P_{23}$ (Ec. 6) | | |
| Calidad: Cumple ISO 14000 | | Si $\rightarrow P_{21} = 1$ | No $\rightarrow P_{21} = 0,7$ | |
| Transporte | Distancia | | $P_{22} = 19,39X^{-0.67}$ X=distancia de transporte en Km | |
| | Tipo | Tren $\rightarrow P_{23} = 1$ | Camión $\rightarrow P_{23} = 0,7$ Para distancias <100 Km $P_{23} = 1$ | |
| Empleo de áridos reciclados | | $V_3 = P_{31} \cdot P_{32} \cdot P_{33} \cdot P_{34}$ (Ec. 7) | | |
| Cantidad: Se permite hasta un 25% de agregados reciclados | | Áridos reciclados/totales $\leq 25\% \rightarrow P_{31} = 0,04x$ X= áridos reciclados / totales en peso | | |
| Calidad: Cumple con INEN NTE, aplicado a un Hormigón con agregados reciclados | | Si $\rightarrow P_{32} = 1$ | No $\rightarrow P_{32} = 0,7$ | |
| Transporte | Distancia | | $P_{33} = 5,8357X^{-0.67}$ X=distancia de transporte en Km | |
| | Tipo | Tren $\rightarrow P_{34} = 1$ | Camión $\rightarrow P_{34} = 0,7$ Para distancias <100 Km $P_{34} = 1$ | |
| Optimización del cemento | | $V_4 = P_{41} \cdot P_{42} \cdot P_{43} \cdot P_{44} \cdot P_{45} \cdot P_{46}$ (Ec. 8) | | |
| Cantidad: X=cantidad de cemento en peso por m ³ de hormigón | | $x \leq 380 \text{ kg/m}^3 \rightarrow P_{41} = 0,0235x - 7,7059$ $x > 380 \text{ kg/m}^3 \rightarrow P_{41} = -0,0143x - 6,2857$ $0 \leq P_{41} \leq 1$ | | |
| Calidad: Cumple ISO 14000 | | Si $\rightarrow P_{42} = 1$ | No $\rightarrow P_{42} = 0,7$ | |
| Transporte | Distancia | $P_{43} = 19,39X^{-0.67}$ X=distancia de transporte en Km | | |
| | Tipo | Tren $\rightarrow P_{44} = 1$ | Camión $\rightarrow P_{44} = 0,7$ Para distancias <100 Km $P_{44} = 1$ | |

Anexo 2. Índice del proceso constructivo

| Índice del Proceso Constructivo | | | | | | | |
|--|------------------------|---------------------------------------|------------------------|------|---------|------|------|
| Categorías de análisis | | Medios Evaluados | | | Totales | | |
| | | F | B | A | | | |
| Uso eficiente de la energía | | Equipamiento móvil | 0,04 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | |
| | Consumo de energía | Máquinas / Plantas Industriales | 0,08 | 0,10 | 0,06 | 0,08 | |
| | | Herramientas | 0,05 | 0,08 | 0,05 | 0,06 | |
| | Iluminación de la Obra | Consumo de energía | 0,06 | 0,04 | 0,04 | 0,05 | |
| | | Contaminación lumínica | 0,04 | 0,06 | 0,03 | 0,04 | |
| | | Transporte | De carga | 0,11 | 0,10 | 0,06 | 0,09 |
| | De personal | | 0,09 | 0,06 | 0,03 | 0,06 | |
| | | Hormigón / Acero | 0,12 | 0,08 | 0,08 | 0,09 | |
| | Gestión de residuos | | Residuos de Demolición | 0,05 | 0,11 | 0,05 | 0,07 |
| | | Obras Complementarias | Residuos de excavación | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,05 |
| Instalación del Obrador | | | 0,06 | 0,06 | 0,03 | 0,05 | |
| | | Residuos especiales / peligrosos | 0,06 | 0,06 | 0,05 | 0,05 | |
| | | Residuos sólidos / urbanos | 0,05 | 0,06 | 0,04 | 0,06 | |
| | | | - | - | - | - | |
| Agua | Consumo de agua | Consumo humano | 0,12 | 0,12 | 0,07 | 0,10 | |
| | | Consumo Obras | 0,15 | 0,18 | 0,12 | 0,15 | |
| | Afectación del agua | Aguas subterráneas | 0,06 | 0,06 | 0,06 | 0,06 | |
| | | Aguas superficiales | 0,12 | 0,12 | 0,07 | 0,10 | |
| Atmósfera | | Ruidos molestos | 0,11 | 0,11 | 0,10 | 0,11 | |
| | | Olores | 0,08 | 0,08 | 0,08 | 0,08 | |
| | Calidad del aire | Emisiones de gases efecto invernadero | 0,11 | 0,14 | 0,09 | 0,11 | |
| | | Material particulado | 0,11 | 0,09 | 0,09 | 0,10 | |

IPC: 0.80

Anexo 3. Factores de Sostenibilidad

| Factor de Sostenibilidad | Actividades | Responsables | Recursos humanos, Materiales y Financieros | Mecanismos de Control | Periodo | Prioridad |
|---------------------------------|---|-----------------------|---|---------------------------------|----------------|------------------|
| Social | Socialización del proyecto con la población | Técnico Ambiental | Institución Ejecutora | Gobierno Provincial de Imbabura | Puntual | Alta |
| | Identificación de materiales ecológicos para la construcción de los conjuntos residenciales y ser socializados para conocer la aceptación por parte de los habitantes. | Técnico Ambiental | Institución Ejecutora | Gobierno Provincial de Imbabura | Puntual | Alta |
| | Socialización de alternativas ecológicas de construcción. Reunión con la población para tratar temas ecológicos en las construcciones mediante mapas parlantes. | Técnico Ambiental | Institución Ejecutora | Gobierno Provincial de Imbabura | Puntual | Alta |
| | Socialización de alternativas ecológicas para construcciones de conjuntos residenciales o edificaciones. Búsqueda de tecnologías limpias para reducir el impacto en la actividad de la construcción. Recolección de los residuos de las construcciones de los conjuntos habitacionales. | Técnico Ambiental | Institución Ejecutora | Gobierno Provincial de Imbabura | Puntual | Alta |
| Ambiental | Recolección de los residuos de las construcciones de los conjuntos habitacionales. | Técnico Ambiental | Institución Ejecutora | VIRSAP | Puntual | Alta |
| | Aplicación de herramientas para minimizar el impacto en las construcciones. | Técnico Ambiental | Institución Ejecutora | Gobierno Provincial de Imbabura | Constante | Alta |
| Económico | Establecer un presupuesto para materiales ecológicos | Encargado de finanzas | Institución Ejecutora | Gobierno Provincial de Imbabura | Puntual | Alta |

| | | | | | | |
|----------------|--|-------------------------|-----------------------|------------|-----------|-------|
| | Analizar el presupuesto para asegurar que cubra todos los costos de los materiales que se necesitan para la construcción sustentable | Encargado de finanzas | Institución Ejecutora | GAD IBARRA | Constante | Alta |
| | Capacitar al equipo encargado de la contabilidad y finanzas para asegurar que la información contable esté en orden | Encargado de finanzas | Institución Ejecutora | GAD IBARRA | Constante | Alta |
| | Revisar los problemas que surgen en el proceso de construcción | Técnicos especializados | Institución Ejecutora | GAD IBARRA | Constante | Media |
| Técnico | Dar el seguimiento a la obra en construcción | Técnicos especializados | Institución Ejecutora | GAD IBARRA | Constante | Alta |
| | Capacitar al equipo que se encarga de la construcción | Técnicos especializados | Institución Ejecutora | GAD IBARRA | Constante | Alta |

Anexo 4. Visita al área de estudio



Anexo 5. Construcción de las viviendas multifamiliares



Anexo 6. Observación de los componentes abióticos del área de estudio



Anexo 7. Observación de los componentes bióticos del área de estudio



