

1. Introducción.

El desarrollo científico y tecnológico ha mejorado el nivel de vida en significativos aspectos de la humanidad, pero aún tenemos una deuda con aquellos sectores en donde la pobreza no se ve beneficiada con los avances desarrollados en empresas, laboratorios y universidades por citar solo algunos centros de investigación, el presente trabajo es el resumen de seis años de trabajo por alumnos y ex alumnos del curso de análisis y diseño de experimentos en el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Querétaro en el desarrollo de nuevos productos agroindustriales y/o su innovación en la Sierra Gorda del Estado de Guanajuato, una de las zonas de mayor pobreza extrema en México.

El proyecto nació formalmente en 1996 con la investigación y análisis de las propiedades y características físicas de la tierra para sugerir o determinar el producto agrícola con más potencial y rentabilidad en determinada zona y, de esta manera los agricultores se vieran beneficiados con sus cosechas, esta investigación duró poco más de cuatro años, en los cuales se hizo un censo de los cultivos agrícolas por cada periodo, su rentabilidad y el tipo de fertilizantes, semillas y compuestos usados en el proceso, los niveles de mantos freáticos y explotación de pozos acuíferos, las cotas registradas en ríos y presas por las lluvias así como el impacto de heladas y cambios de temperatura a los cultivos.

La investigación generó una base de datos que rápidamente sería obsoleta debido a la alteración de las propiedades de la tierra por el abuso de fertilizantes y repetibilidad de los cultivos, así como el cambio climático que desfasó las temporadas de lluvia e hizo impredecible la aparición de meteoros como el granizo y las heladas, lo que nos motivó a diseñar un sistema dinámico a través de la probabilidad y estadística que permitiera evaluar la probabilidad de riesgo al sembrar determinado cultivo en determinada zona.

Una variable que no había sido tomada en cuenta en la década de los 80's fue que después de la nacionalización de la banca el gobierno mexicano realizó captación de dinero a través de ofrecer tasas muy atractivas de interés, por lo que agricultores y campesinos solicitaban créditos para la agricultura en la banca de desarrollo con tasa de interés preferencial y de bajo costo, y al día siguiente lo depositaban en la banca comercial que ofrecía altas tasas de interés con lo que mes a mes les redituaba grandes ganancias comparada a las generadas por la agricultura, además de que evitaban riesgos, pago de salarios, prestaciones sociales y la comercialización del producto, esto provocó un déficit de productos agrícolas que no hemos

podido revertir y trabajo como consecuencia, por la competitividad de los productos importados de otros países que el precio por cultivarlo fuera más caro, lo que provocaba fuertes pérdidas.

El impacto social fue grande en el país, debido a que comenzó una espiral constante de devaluación de nuestra moneda frente al dólar provocando que los bancos quebraran, por lo que aquellos agricultores que solicitaron créditos a las bancas de desarrollo para depositarlo en la banca comercial adquirieron una deuda que freno la agricultura al momento de depreciarse hasta Diciembre de 1988 3270% el peso mexicano, y una de las consecuencias fue que ante la falta de trabajo en un país mayoritariamente agrícola se agudizo al grado de generarse zonas de pobreza extrema en el país y un desabasto en productos críticos siendo la gran paradoja la riqueza en biodiversidad y características de suelo (González, 1998).

Nuestro reto es generar una metodología eficaz y eficiente que de respuesta a esta problemática para generar proyectos de inversión agrícolas que reviertan el proceso de pobreza extrema a través de una visión sistémica privilegiando el desarrollo de nuevos productos, su innovación y operando a través de energías renovables.

2. Metodología para el diseño de nuevos productos y su innovación.

Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí para lograr un fin común (Moreira, 1987), la ingeniería de proyectos no puede estar ajena a la consideración y aceptación esta afectado por variables internas y externas que deben ser correctamente analizadas y evaluadas como uno de los puntos más críticos que generan mayor probabilidad de éxito en la realización de los proyectos. Uno de los causales que más incidencia tienen en el fracaso de proyectos de inversión según Nacional Financiera SNC (NAFIN) que es la principal banca de desarrollo en México es la no someter el proyecto a escenarios en donde factores como la devaluación e incremento inesperado de materias primas de importación hacen impagables los empréstitos y/o los precios de venta no son competitivos.

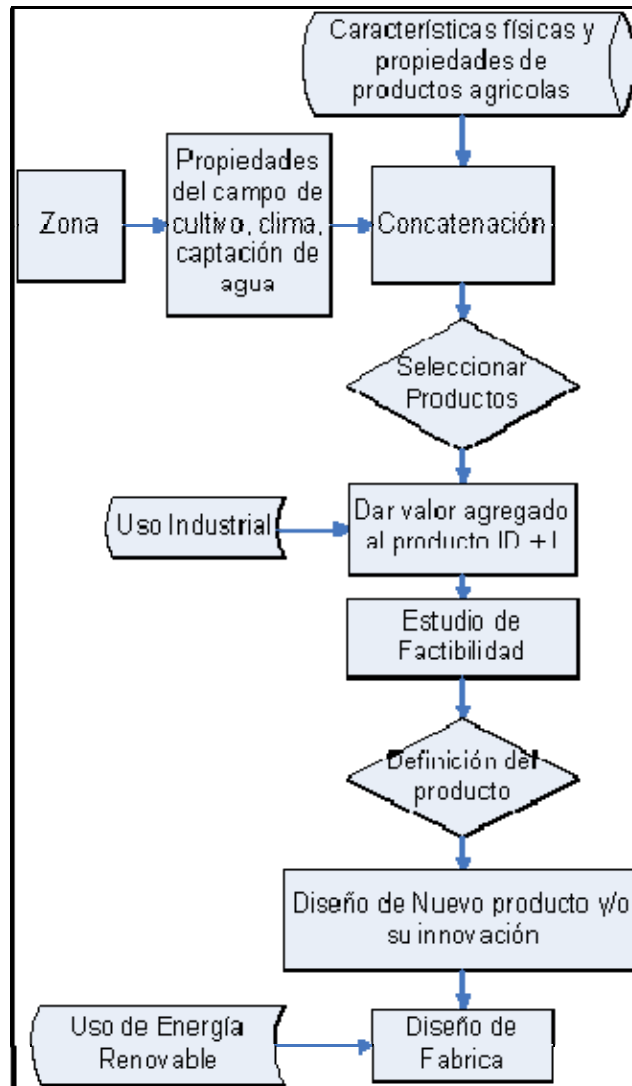


Figura 1. Metodología para el diseño de nuevos productos y/o su innovación

La presente metodología sintetizada en la figura 1 tiene como fin generar proyectos para la realización de agroindustrias en zonas marginadas de México, más no esta limitada a este sector, ya que con las adecuaciones pertinentes puede ser aplicada en diferentes países y sectores productivos; tiene un enfoque sistémico para considerar factores externos e internos, pero su eje principal es el uso del análisis y diseño de experimentos o, estadística matemática para la definición del nuevo producto y/o su innovación encontrando en la fase de transferencia del nuevo producto a la fabrica los parámetros adecuados para diseñar y caracterizar la línea de producción, se hace uso de técnicas de fase creativa en las primeras fases del proyecto así como de ingeniería económica y técnicas de evaluación de proyectos para minimizar el riesgo de fracaso.

2.1. Fase de Investigación de campo.

Durante esta fase se hace la investigación de las propiedades y características de los campos de cultivo, el proyecto tomo como área de estudio la zona norte del estado de Guanajuato, en México, específicamente el municipio de San Luis de la Paz. En colaboración con los laboratorios y campos de experimentación agrícola de la Secretaria de Agricultura y el departamento de Ingeniería Agrícola de Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Querétaro se analizaron muestras de tierra obtenidas en campos de cultivos, a la par que se hacía un censo e investigación de campo sobre los productos realizados durante los últimos 30 años así como el tipo de fertilizantes y semillas usadas, analizando el potencial del rendimiento de la cosecha en toneladas por hectárea. En la figura 2 se muestra el proceso que se siguió en el levantamiento de datos así como las variables y características que fueron consideradas.

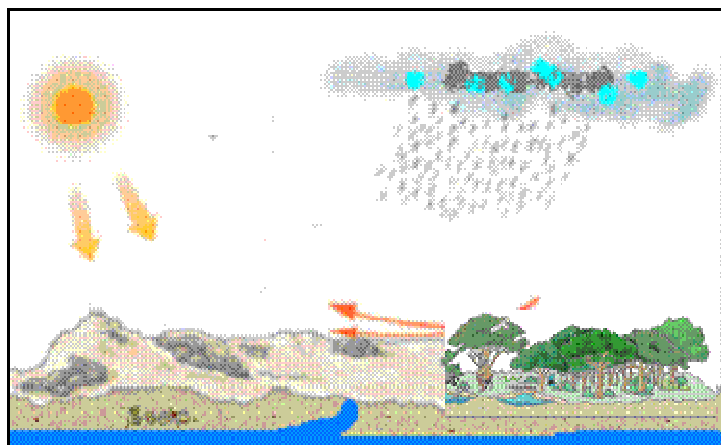


Figura 2. Proceso de levantamiento de datos de campo.

En otro frente de trabajo, investigamos las características que debían tener los productos agrícolas para ser considerados de excelente calidad y alto rendimiento en la cosecha, esto sin importar si históricamente habían sido sembrados en el municipio pues nuestro interés era determinar si ciertos productos pueden ser cultivados en la región aprovechando las características propias de tierra, altitud y clima. El resultado fue la construcción de una base de datos con los productos que pueden tener éxito en la región, así como la posibilidad de analizar el riesgo en determinados campos de cultivo por la sobre explotación de determinados productos, con esto podemos planear un horizonte al calcular una probabilidad de que cierto cultivo tenga alto rendimiento en la cosecha al menos durante el tiempo de vida del proyecto sin poner en riesgo la inversión. (Reij & Waters, 2001)

El cuarto frente de trabajo fue hacer una investigación sobre la capacidad de los mantos fríaticos y un censo de pozos de agua y su capacidad y costo del proceso de extracción, a la par

de determinar la incidencia de meteoros como son el cambio de clima, el granizo y su efecto en los cultivos, cabe destacar que esta última parte se basó en métodos heurísticos y empíricos, que pueden ser perfectibles al tener acceso a satélites y laboratorios que nos permitan determinar el desfase climático y poder hacer una predicción estadística si bien con poca factibilidad pero que puede evitar la pérdida de la inversión por a causa de estos fenómenos de la naturaleza. (Penson, 1995)

2.2 Fase de concatenación de la investigación de campo.

Al construir la base de datos con las propiedades y características de las tierras de cultivo y demás características podíamos correr un algoritmo de concatenación en dicha base para determinar aquellos productos con alto potencial y, poder determinar la probabilidad de éxito de dichos productos a través de la realización de hipótesis en diseños de experimentos ex profeso para cada producto usando las características obtenidas en la investigación de campo.

2.3. Fase de investigación y desarrollo para nuevos productos y su innovación.

La generación y desarrollo de un nuevo producto es uno de los retos más grandes para cualquier persona, investigador, industria o entidad, debido a que demanda conceptualizar requerimientos, la mayoría de las veces abstractos, que demanda el mercado, plasmarlos en modelos físicos y palpables para después buscar y seleccionar los materiales adecuados para darle su forma final y, que sean económicamente viables para ser desarrollados.

Durante el ciclo de vida de un producto, el recurso más valioso es el tiempo, siendo la fase de conceptualización, o investigación y desarrollo la fase que más consume este valioso recurso (Wasson, 1974), pues es aquí en donde los requerimientos del mercado toman forma en un diseño, el cuál se busca tecnológicamente que realice la función para la cuál fue diseñado, seleccionando los materiales adecuados que cumplen la ecuación de costo beneficio para fabricación masiva. La figura 3 muestra la propuesta de ciclo de vida para un producto agroindustrial, lo que no implica que sea exclusiva para productos de este sector, pero sí define la tendencia que deben tomar las técnicas, metodologías y herramientas para definir el nuevo producto, su fabricación masiva así como su final de vida. Se puede ver en la línea de horizonte de vida que la etapa de investigación y desarrollo es la que más tiempo consume, por lo que esta metodología hace énfasis, como comentamos anteriormente en la implementación de técnicas de fase creativa y diseño de experimentos para reducir el tiempo de desarrollo y, conceptualizar un producto eficiente en su función, con la mayor calidad y al menor costo (Malecki, 1997)

A pesar de que vivimos en una era privilegiada por las investigaciones, desarrollo de tecnologías, herramientas de cálculo y procesamiento de datos, la mentalidad de experimentar en base a prueba y error, métodos heurísticos y basarse más en la experiencia de los investigadores y la soberbia del conocimiento absoluto hacen que si bien es cierto que se logran desarrollos perfectos en contadas ocasiones, estos consumen una gran cantidad de tiempo, y en muchas ocasiones el producto tiene un tiempo de vida muy corto en el mercado y no retorna la inversión que se hizo en laboratorios.

El diseño de experimentos (DOE) es una de las herramientas más poderosas en manufactura, más sin embargo su incorporación en las fases de creatividad e innovación para el diseño de nuevos productos no es aprovechada al máximo por ingenieros y científicos, en algunas ocasiones la falta de una cultura disciplinada en el desarrollo de estrategias de ingeniería, en otras ocasiones el miedo a usar métodos estadísticos, la incapacidad de abstraer de la realidad modelos matemáticos para ser analizados, y la ignorancia en el uso de esas técnicas son los causales que DOE no sea usado masivamente en el desarrollo de nuevos productos. (Antony, 2001)

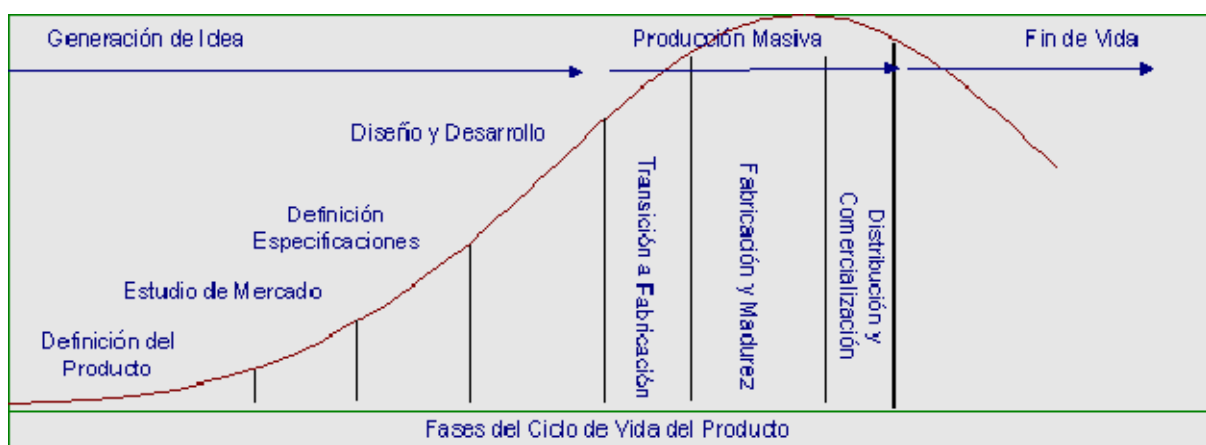


Figura 3. Fases del ciclo de vida de un producto agroindustrial.

En los productos agroindustriales y gracias a la construcción de base de datos hacemos el análisis de nuevos productos tomando como materia prima los productos agroindustriales tomando ahora como base de la investigación las características físicas y químicas que tienen los componentes de cada producto, el primer paso es a través de las técnicas de fase creativa (Lloveras, 2007) como es el brainstorming en sus diferentes variedades, el análisis funcional, la ingeniería del pensamiento que a través de relaciones lógicas combinadas con teoría de conjuntos nos permite obtener ideas bien encaminadas para la definición de nuevos productos. El uso de técnicas de ingeniería de sistemas como son el CATWOE (Checkland,

1993) y la Cruz Malteza (Wilson, 1980) ayudan a la construcción y definición de productos robustos.

Estas ideas son ahora sometidas a un proceso de diseño de experimentos para determinar su factibilidad y que la función para la que fueron diseñados realmente se realice, este análisis estadístico nos permite, basados en la filosofía de seis sigma encontrar los parámetros adecuados del producto, cabe destacar que a través de la función de distribución de probabilidad de Fisher, figura 4, encontramos que aquellos productos cuyo valor experimental están más cercanos al cero son aquellos que cumplen con la filosofía de Taguchi de robustez de producto (Ross, 1995), pero hay que tomar en cuenta que entre más cercano al cero, obtener dichos parámetros para lograr dicho valor experimental puede generar un incremento en el costo del producto, por lo que hay que considerar en la ecuación el costo y el valor teórico del experimento, es decir, que podemos hacer una simulación matemática con DOE para determinar los parámetros adecuados tanto en robustez, calidad y costo sin necesidad de hacer dichos experimentos en su totalidad en el laboratorio.

Ahora estamos capacitados para la selección de nuevos productos, tenemos aquellos que son técnicamente factibles, es momento de volver a correr una concatenación de base de datos para hacer una evaluación sistémica del proyecto y determinar su factibilidad económica, por lo regular se deben de correr al menos tres escenarios para hacer los estudios de ingeniería económica, tomando en cuenta todos los factores y variables externas e internas que puedan afectar el proyecto, ya que podemos generar nuevos productos realmente innovadores, pero extremadamente costosos que no podrían ser pagados por el mercado y el proyecto no tendría un retorno de inversión.

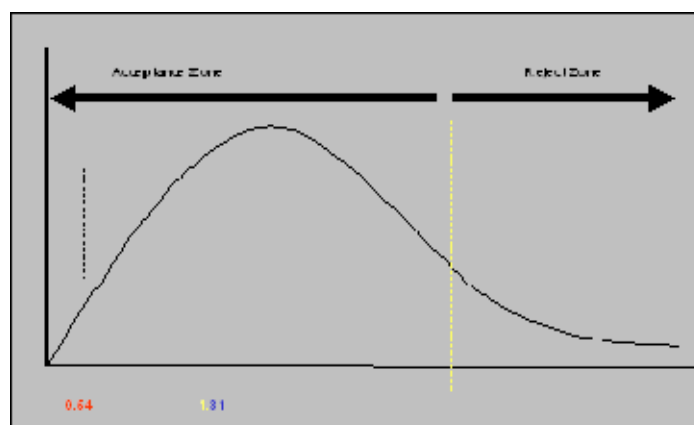


Figura 4. Distribución de Fisher, el valor experimental esta dentro de el área de aceptación.

En esta fase se hace una selección de aquellos productos con mayor potencial y se generan los análisis y desarrollos de procesos de fabricación para determinar la maquinaria y el equipo necesario para su producción masiva, así como el costeo del producto para tener un proyecto integral, es decir considerando desde la parte de ID + i hasta la puesta en venta del producto.

La restricción más importante en este punto es que los procesos cultivo de la materia prima así como de fabricación del producto debe de ser realizado en su mayor porcentaje a través de energías renovables, esto implica el diseño de sistemas eólicos de extracción y riego de agua, así como la reconversión o diseño de maquinaria y equipo operada por eléctrica generada por dispositivos eólicos y solares.

3. Caso de Estudio.

Para corroborar la efectividad de la metodología aquí presentada se aplico en la comunidad denominada “Ciudad de los Niños” en el municipio de San Luis de la Paz, esta comunidad es una casa hogar para niños que han sufrido orfandad, abandono, violencia familiar y pobreza extrema de sus padres y tienen un campo de cultivo con invernaderos, por lo cual se hizo un convenio de colaboración para usarlo como campo experimental y donar el usufructo de las investigaciones para el mantenimiento de la casa hogar y la creación de un fideicomiso para que puedan estudiar en un futuro carreras profesionales los niños que habitan este hogar.

Siguiendo la metodología el primer paso fue determinar con toda claridad las características de suelo del campo de cultivo así como las condiciones climáticas, capacidad de mantos freáticos, altitud, pendiente de suelo y demás factores críticos (Almaguer, 2002).

Al realizar la concatenación de las bases de datos, obtuvimos 32 productos agrícolas viables para ser cultivados, el siguiente paso fue darle valor agregado a dichos productos, en otras palabras, realizar el proceso de ID+i usando las técnicas de fase creativa, ingeniería de sistemas y diseño de experimentos en los laboratorios de ingeniería de alimentos y agrícola del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey con la finalidad de obtener nuevos productos o, innovar productos ya realizados, el proceso se muestra en la figura 5.

Se obtuvieron 143 productos nuevos e innovados, de los cuáles se hizo una depuración a través de análisis de factibilidad técnica y económica, este último de manera general y no ha detalle, hasta obtener 26 productos factibles con 11 productos agrícolas como materia prima.

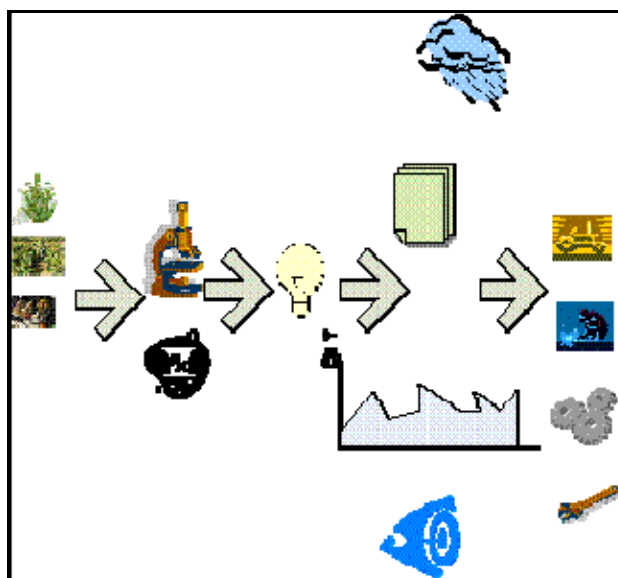


Figura 5. Proceso para el diseño de nuevos productos y su innovación.

Los productos agrícolas con mayor potencial en la cosecha y que de ellos se pueden elaborar productos innovadores y de alta rentabilidad son brocoli, nopal, tuna, jitomate, sábila, chilcuague, durazno, chile, amaranto, ajo y espárrago. En la tabla 1 se presentan la materia prima o producto agrícola con la sustancia activa, el nuevo producto y el sector de la industria a la que se beneficia.

Materia Prima	Sustancia Activa	NP o Innovación	Uso / Industria
Chile	Pungenica, capsaicina	Cremas para piel	Cosmético
Nopal	Mucilago	Fijador de pintura	Industria de Pinturas
Zanahoria	Beta Carateno	Te de Zanahoria	Medicina y Alimentos
Chilcuague	Alcamida	Analgésico	Medicina
Tuna	Glucosinolatos	Sustancia activa para medicamentos	Medicina, diabetes, cáncer
Tuna	Tuna	Dulces, Vino, Quesos	Alimentos
Brocoli	Alcamida sulforaphane	Medicamentos	Cáncer, Medicina
Sábila	Glycosaminoglycans	Jugo	Diabetes, Hipertensión, Medicina

Tabla 1. Productos agrícolas como materia prima y los nuevos productos y/o innovación que se generan de ellos.

A la fecha, hemos sembrado jitomate en los invernaderos, así como nopal, sábila, nopal y chilcuague en las tierras de cultivo, en este proceso hemos estado haciendo énfasis en el uso de energía renovable, podemos citar por ejemplo un sistema de riego a través de energía

eólica así como la extracción de agua a través de aerogeneradores diseñados por nosotros, el uso de paneles solares para calentadores de agua así como el uso de biomasa para regular el clima en los invernaderos.

Se han realizado proyectos de inversión para ser presentados a fundaciones en los Estados Unidos de América para la creación de las agroindustrias, en la tabla 2 se muestran los productos agrícolas con mayor rentabilidad económicamente hablando, este análisis se realizó a través de estados financieros proyectados en un horizonte de tiempo de diez años bajo tres escenarios económicos y de manera sistémica considerando variables internas y externas así como proyecciones de probabilidad de premisas macro económicas.

Materia Prima	Retorno de Inversión (años)	Tasa Interna de Retorno	Valor Presente Neto (USD)
Tuna	1.3	43.62 %	145, 678.23
Nopal	1.7	39.82 %	211,043.79
Chilcuague	2.1	37.45 %	423, 125.16
Sábila	2.65	27.65 %	301,607.30

Tabla 2. Resumen Financiero de los cuatro productos agrícolas más rentables.

En estos proyectos se ha incluido una parte del equipo requerido para dotar todo el campo agrícola con sistemas de riego operados con aerogeneradores así como la extracción del agua de pozo sea mediante el uso de energía eléctrica generado por este mismo medio, cabe destacar que si el proyecto incluye en su totalidad los costos de los equipos las agroindustrias serían no rentables, por lo mismo se planeo un balance entre equipo diseñado y fabricado en los talleres de la universidad y el uso de equipo obsoleto reconvertido y reconstruido para nuestra finalidad. En zonas de alta montaña y de pobreza extrema no existe el suministro de energía eléctrica, por lo que el análisis en este momento del proceso es necesario para asegurar que la implementación de la metodología y los proyectos pueda ser realizada en cualquier zona.

4. Conclusiones

La metodología que hemos presentado, si bien no aporta grandes desarrollos tecnológicos, si presenta una manera sistémica y matematizada para diseñar proyectos no solo agroindustriales, basado fuertemente en las bondades y beneficios del uso del análisis y diseño de experimentos.

Una de las premisas de investigación era que a través de DOE se reducirían los tiempos de ID+i en el ciclo de vida de un producto, los resultados obtenidos reflejan, comparados contra proyectos realizados en cátedras de investigación del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey así como en el campo de investigación agrícola bajo de la Secretaría de Agricultura, en promedio usando los mismos productos agrícolas el desarrollo de un nuevo producto por los miembros de nuestro equipo de investigación tardó 41 días hábiles contra los 130 días promedio usados por los otros centros, cabe destacar que nuestro equipo está formado por estudiantes de las facultades de ingeniería industrial, mecánica, alimentos y agronomía.

Otro de los beneficios de la metodología es la robustez del producto, así como la confiabilidad y calidad del producto, al ser sometido en la fase de diseño a análisis de experimentos enfocados a encontrar los parámetros adecuados, reduciendo también el costo debido a que reducimos el uso de laboratorios a través del uso de modelación matemática, lo cual es un beneficio que no esperábamos al plantear el proyecto de investigación pero que fue una necesidad por el reducido presupuesto con el que contamos así como las pocas horas de uso de laboratorio que se nos facilitaban a la semana.

Pero, desde nuestro punto de vista el mayor beneficio es que podemos generar procesos robustos para la definición de nuevos productos y la realización de proyectos que pueden ser aplicados para generar fuentes laborales y reducir los polos de pobreza en diferentes zonas de México, ya que el compromiso del Tecnológico de Monterrey es a través del servicio social comunitario facilitar el material humano para diseñar productos en aquellas zonas que lo necesiten y capacitar a los pobladores para su operación así como la distribución de sus productos.

En Ciudad de los Niños este proyecto ya es una realidad y en un futuro cercano ayudará a esta comunidad a ser autosustentable en la generación de alimentos y la venta de productos agroindustriales que les reporten beneficios económicos para solventar los gastos de educación de los niños que ahí residen. El modelo de trabajo es a través de la contratación de gente de comunidades cercanas, y aunque se espera la colaboración de aquellos jóvenes mayores de 14 años en las actividades de la agroindustria, de ninguna manera habrá explotación infantil, pero sí habrá actividades propias para los jóvenes para inculcarles a ellos una cultura de trabajo y no de privilegios.

Finalmente, el uso y experimentación en el campo agrícola nos ha dado la pauta para determinar que podemos en esta zona del país cultivar la jathrofa para generar biocombustibles, la altitud a más de 2,200 metros sobre el nivel del mar y la emulación de condiciones en los invernaderos nos ha permitido comenzar a experimentar en este campo y si los resultados finales son excelentes, podemos tener capacidad necesaria para operar los vehículos y tractores usados en el proceso agrícola y vender el excedente a la comunidad. Esto nos dará la pauta para convertir células de producción altamente eficientes, costeables y productivas operadas por energía renovable y que pueden ser emuladas en diferentes zonas y países para crear proyectos de desarrollo social que abatan la pobreza y generen alimento a la población más vulnerable, en este caso la niñez.

Referencias.

- Almaguer A., 2002 *Manejo y aprovechamiento de Heliopsis Longipes Compositae (Chilcuague) por comunidades campesinas del Municipio de Xichú, Guanajuato*, <http://www.conabio.gob.mx> July 2008. Stuart. Total Design, 1994, *Integrated Methods for Successful Product Engineering*, 1-135.
- Checkland, P., 1993, *Systems Thinking, System Practice*, 157-211
- Gonzalez, C., 1998 *Enfoque Metodológico para la elaboración y evaluación de proyectos agroindustriales en el municipio de San Luis de la Paz, Gto.*
- Malecki, E.J, 1997, *The product cycle and economic development*, 63-71.
- Moreira, H., 1987, *Lecturas Selectas de Ingeniería de Sistemas, El Proceso de Diseño de Sistema*, 171-319
- Lloveras, J., 2007, *Creatividad en el diseño conceptual de ingeniería del producto, Creatividad y Sociedad*, No. 10: Creatividad y Ciencia, Marzo 2007 pp. 133-145
- Penson., J.B., Capps, O., Rosson, C., 1995, *Introduction to Agricultural Economics*, 19-141
- Ross P.J., 1995, *Taguchi Techniques for Quality Engineering*.
- Reij C. & Waters-Bayers A., 2001 *La innovación de los agricultores como punto de acceso a la investigación y extensión participativa*. http://www.idrc.ca/es/ev-85063-201-1-DO_TOPIC.html May 2008.
- Wasson, Ch. R., 1974, *Dynamic competitive strategy & product cycles*.
- Wilson, B., 1980, *The Maltese Cross, A Tool for Information System Analysis and Design*, *Journal of Applied Systems Analysis* Vol. 7

Agradecimientos.

A los departamentos de Ingeniería Industrial, Mecánica, Alimentos y Agronomía del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Querétaro.

A Providencia, Juventud y Alegría A.C., Ciudad de los Niños

Correspondencia.

Carlos Alberto González Almaguer

Av. Epigmenio González No. 500

Fracc. San Pablo

Santiago de Querétaro, Qro., Méx.

C.P. 76130

Tel. (52) 468 6882753

cagleza@prodigy.net.mx

cgonzalz@itesm.mx

www.campus.gro.itesm.mx

www.cddelosninos.org