

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS**



**“UTILIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO
DETERMINÍSTICO SIMPLEX PARA OPTIMIZAR
RECURSOS EN UN LABORATORIO ESPECIALIZADO
EN INFERTILIDAD Y REPRODUCCIÓN HUMANA
EN GUATEMALA”**

DÁMARIS RAQUEL ORELLANA ORTÍZ

ADMINISTRADORA DE EMPRESAS

GUATEMALA, NOVIEMBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
ESCUELA DE ADMINISTRACIÓN DE EMPRESAS



**“UTILIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO
DETERMINÍSTICO SIMPLEX PARA OPTIMIZAR
RECURSOS EN UN LABORATORIO ESPECIALIZADO
EN INFERTILIDAD Y REPRODUCCIÓN HUMANA
EN GUATEMALA”**

TESIS

PRESENTADA A LA JUNTA DIRECTIVA
DE LA FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS

POR

DÁMARIS RAQUEL ORELLANA ORTÍZ

PREVIO A CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

ADMINISTRADORA DE EMPRESAS

EN EL GRADO ACADÉMICO DE

LICENCIADA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2018

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE CIENCIAS ECONÓMICAS
MIEMBROS DE LA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Lic. Luis Antonio Suárez Roldán
SECRETARIO	Lic. Carlos Roberto Cabrera Morales
VOCAL PRIMERO	Lic. Carlos Alberto Hernández Gálvez
VOCAL SEGUNDO	MSc. Byron Giovani Mejía Victorio
VOCAL TERCERO	Vacante
VOCAL CUARTO	P.C. Marlon Geovani Aquino Abdalla
VOCAL QUINTO	P.C. Carlos Roberto Turcios Pérez

**PROFESIONALES QUE PRACTICARON EL EXÁMEN DE ÁREAS
PRÁCTICAS BÁSICAS**

Área Matemática-Estadística	Lic. Oscar Haroldo Quiñónez Porras
Área Administración-Finanzas	Lic. Jaime René Ocampo Muralles
Área Mercadotecnia-Operaciones	Lic. Eduardo Florencio Valiente Somoza

JURADO QUE PRACTICÓ EL EXAMEN PRIVADO DE TESIS

PRESIDENTE:	Lic. Luis Manuel Vásquez Vides
SECRETARIO:	Lic. Williams Daniel Melgar García
EXAMINADOR:	Lic. Axel Osberto Marroquín Reyes

Guatemala, 7 de agosto de 2018


Licenciado
Luis Antonio Suarez Roldan
Decano de la Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de San Carlos de Guatemala

Señor Decano

De conformidad con el nombramiento emanado de su decanatura, con fecha 17 de mayo del 2018, en el que se me designa asesor de tesis de la estudiante Dámaris Raquel Orellana Ortiz, carné 200812468, con el tema "Utilización del modelo matemático determinístico simplex para optimizar recursos en un laboratorio especializado en infertilidad y reproducción humana en Guatemala", me permito informarle que he procedido a revisar el contenido de dicho estudio, encontrando que el mismo cumple con los lineamientos y objetivos planteados en el respectivo plan de investigación.

En virtud de lo anterior y considerando que este trabajo de tesis fue desarrollado de acuerdo a los requisitos reglamentarios de la facultad, me permito recomendarlo para que sea discutido en Examen privado de tesis, previo a optar el título de Administrador de Empresas en el grado académico de licenciada.

Atentamente


Lic. M.Sc. Victor Manuel Castro Sosa
Colegiado No. 2146

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS
DE GUATEMALA



FACULTAD DE
CIENCIAS ECONÓMICAS
Edificio "s-8"
Ciudad Universitaria, Zona 12
Guatemala, Centroamérica

J.D-TG. No. 0248-2018
Guatemala, 31 de octubre de 2018

Estudiante
DÁMARIS RAQUEL ORELLANA ORTÍZ
Facultad de Ciencias Económicas
Universidad de San Carlos de Guatemala

Estudiante:

Para su conocimiento y efectos le transcribo el Punto TERCERO, inciso 3.1, subinciso 3.1.1 del Acta 27-2018, de la sesión celebrada por Junta Directiva el 29 de octubre de 2018, que en su parte conducente dice:

"TERCERO: ASUNTOS ESTUDIANTILES

3.1 Graduaciones

3.1.1 Elaboración y Examen de Tesis

Se tienen a la vista providencias de las Direcciones de Escuela de Contaduría Pública y Auditoría, de Administración de Empresas, de Economía y de Estudios de Postgrado en las que se informa que los estudiantes que se listan a continuación, aprobaron el Examen de Tesis, por lo que se trasladan las Actas de los Jurados Examinadores de Tesis y expedientes académicos.

Junta Directiva acuerda: 1º. Aprobar las Actas de los Jurados Examinadores de Tesis. 2º. Autorizar la impresión de tesis y la graduación a los siguientes estudiantes:

Escuela de Administración de Empresas

Estudiante: Registro Académico: Tema de Tesis:

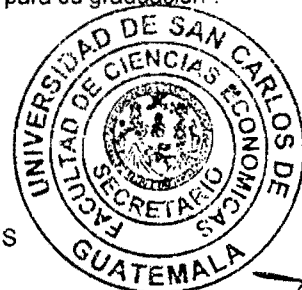
DÁMARIS RAQUEL ORELLANA ORTÍZ	200812468	"UTILIZACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DETERMINÍSTICO SIMPLEX PARA OPTIMIZAR RECURSOS EN UN LABORATORIO ESPECIALIZADO EN INFERTILIDAD Y REPRODUCCIÓN HUMANA EN GUATEMALA"
-------------------------------	-----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

3o. Manifestar a los estudiantes que se les fija un plazo no mayor de seis meses para su graduación".

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

LIC. CARLOS ROBERTO CABRERA MORALES
SECRETARIO



AGRADECIMIENTOS

- A DIOS:** Por sus bendiciones, fortaleza y salud.
- A MIS PADRES:** Jonatan Orellana Sánchez y Marli Ortíz de Orellana, por su apoyo incondicional y aliento en cada etapa de mi vida.
- A MIS HERMANOS:** Otoniel, Daniel, Gabriel, Samuel, David, Uzziel y Abigail, por ser parte importante en el camino del saber.
- A LA UNIVERSIDAD** Por tantas experiencias y conocimiento adquirido.
- A MI ASESOR DE TESIS:** Licenciado Victor Castro, por siempre esperar lo mejor de mi y su constante aliento y apoyo.
- A LA TERNA DE TESIS:** Licenciado Manuel Vásquez Vides, Lic. Williams Melgar y Axel Marroquín, por tan valioso aporte a este trabajo.
- AGRADECIMIENTO ESPECIAL:** Licenciado Mauricio Hernández, por siempre estar al pendiente de mi desarrollo profesional, y al Licenciado Carlos Hernández por el ánimo y contribución brindada.
- A MIS AMIGOS Y DEMÁS:** Karla, Emma, Andrea, Álvaro, Marvin, Estuardo, Julio, Jaqueline y todos aquellos compañeros que fueron parte valiosa del producto final que hoy llegó a su culminación.

ÍNDICE

Contenido	Página
INTRODUCCIÓN	i
CAPÍTULO I	
MARCO TEÓRICO	
1.1 Los centros de infertilidad y reproducción humana en el Mundo	1
1.1.1 Centro de especializado e infertilidad y reproducción humana	1
1.1.2 Tratamientos de fertilidad	4
1.1.2.1 Tratamientos de baja complejidad	5
1.1.2.2 Tratamientos de alta complejidad	9
1.2. Los modelos matemáticos y la toma de decisiones basadas en ellos	14
1.2.1 Tipos de modelos matemáticos	17
1.2.1.1 Teóricos o empíricos	17
1.2.1.2 Estocásticos o deterministas	18
1.2.1.3 Estáticos o dinámicos	18
1.2.1.4 Agregados o distribuidos	18
1.2.2 Modelo matemático de programación lineal	19
1.2.2.1 Aplicaciones de la programación lineal	21
1.2.2.2 Método gráfico	23
1.2.2.3 Método simplex	25
1.2.2.3.1 Procedimiento de aplicación del método simplex	29

CAPÍTULO II
DIAGNÓSTICO DE LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS EN UN CENTRO DE
FERTILIDAD Y REPRODUCCIÓN HUMANA

Contenido	Página
2.1 Metodología de la investigación	37
2.1.1 Determinación de los servicios con mayor incidencia en beneficios	38
2.1.2 Recolección de la información	39
2.1.2.1 Limitantes del presente estudio	39
2.1.3 Organización de la información	40
2.1.3.1 Codificación	40
2.1.3.2 Depuración	40
2.1.4 Clasificación y presentación de la información	40
2.1.4.1 Elaboración de flujogramas de procedimientos	40
2.1.4.2 Hojas técnicas de servicios	40
2.1.4.3 Costeo de servicios	41
2.1.4.4 Determinación de la utilidad por servicio	41
2.1.4.5 Disponibilidad de departamentos	41
2.2 Unidad de análisis	41
2.2.1 Generalidades	42
2.2.2 Antecedentes	42
2.2.3 Filosofía empresarial	43
2.2.3.1 Misión	43
2.2.3.2 Visión	43
2.2.3.3 Valores	44
2.2.4 Estructura organizacional	44
2.2.5 Servicios	47
2.3 Situación actual de la utilización de recursos en un laboratorio especializado	48

Contenido	Página
2.3.1 Tratamientos	48
2.3.2 Equipo	65
2.3.3 Personal	65
2.3.4 Capacidad operativa	66
2.3.4.1 Costeo de servicios	69
2.3.5 Demanda de servicios	83
2.3.6 Principales competidores	88
2.3.7 Personal capacitado para realizar tratamientos de infertilidad en Guatemala	89
2.3.8 Relación utilidad / inversión	90

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1 Objetivos	91
3.1.1 General	91
3.1.2 Específicos	91
3.2 Definir el problema	91
3.3 Desarrollo del modelo matemático	93
3.3.1 Unidad de andrología	94
3.3.2 Unidad de embriología	112
3.4 Análisis y discusión de los resultados	133
3.4.1 Interpretación de los resultados	133
3.4.2 Presentación de escenarios de solución	134
3.4.3 Propuesta de solución óptima de acuerdo a escenarios	135
3.4.4 Control y seguimiento de respuesta óptima	135

Contenido	Página
CONCLUSIONES	136
RECOMENDACIONES	138
GLOSARIO	140
BIBLIOGRAFÍA	143
ANEXOS	149

ÍNDICE DE CUADROS

No.	Título	Página
1	Equipo y materia prima utilizada en análisis de una muestra de semen	52
2	Equipo y materia prima utilizada en la preparación de muestras de semen	55
3	Equipo utilizado para congelar muestras de semen	58
4	Materia prima utilizada para congelar muestras de semen por medio de píldoras	59
5	Interrelación de actividades de servicios de andrología	60
6	Equipo utilizado en la realización de fecundación in vitro convencional y fecundación in vitro con inyección intracitoplasmática de espermatozoides	62
7	Materia prima utilizada en la realización de una fecundación In Vitro	63
8	Materia prima utilizada en una microinyección de espermatozoides	64
9	Materia prima utilizada en la realización de una transferencia de embriones	64
10	Materia prima utilizada en la decumulación de óvulos para acumulación	64
11	Materia prima utilizada en una vitrificación de óvulos para acumulación	65
12	Disponibilidad anual de tiempo de trabajo por cada unidad que conforma el departamento de laboratorio en procesos de baja complejidad	68
13	Disponibilidad anual de tiempo de trabajo por cada unidad que conforma el departamento de laboratorio en procesos de alta complejidad	68

No.	Título	Página
14	Ingreso monetario al laboratorio al centro y laboratorio por proceso	69
15	Hoja técnica de costo estándar para análisis de muestras de semen	70
15.1	Resumen de costo estándar para un análisis de muestra de semen	71
15.2	Determinación de la utilidad para un análisis de muestras de semen	71
16	Hoja técnica de costo estándar para preparación de muestra de semen	72
16.1	Resumen hoja técnica costo estándar para preparación de muestra de semen	73
16.2	Determinación de la utilidad para una preparación de muestra de semen	73
17	Hoja técnica de costo estándar para congelación de semen por píldoras	74
17.1	Resumen hoja técnica costo estándar para congelación de semen por píldoras	75
17.2	Determinación de la utilidad para una congelación de semen por píldoras	75
18	Resumen utilidad de los servicios de la unidad de andrología	76
19	Hoja técnica de costo estándar para fecundación In Vitro convencional	77
19.1	Resumen de hoja técnica de costo estándar para fecundación In Vitro convencional	78
19.2	Determinación de la utilidad para una fecundación In Vitro convencional	78
20	Hoja técnica de costo estándar para fecundación In Vitro	

No.	Título	Página
	más inyección citoplasmática de espermatozoides –ICSI-	79
20.1	Resumen hoja técnica de costo estándar para fecundación In vitro más inyección citoplasmática de espermatozoides –ICSI-	80
20.2	Determinación de la utilidad para un ICSI	80
21	Hoja técnica de costo estándar para acumulación de óvulos	81
21.1	Resumen hoja técnica de costo estándar para acumulación de óvulos	82
21.2	Determinación de la utilidad para una acumulación de óvulos	82
22	Resumen utilidad de los servicios de la unidad de embriología	83
23	Relación de actividades y procesos de la unidad de embriología y tiempo asignado por unidad en minutos	83
24	Demanda de tratamientos de baja complejidad en el centro por servicios prestados en 5 años	84
25	Proyección de la demanda tratamientos de baja complejidad para el centro de fertilidad	86
26	Proyección de la demanda de tratamientos de alta complejidad para el centro de fertilidad	87
27	Resumen utilidad de los servicios y tratamientos del laboratorio de andrología y embriología	90
28	Resumen de ingreso monetario y utilidad para el centro y para el departamento de Laboratorio	93
29	Distribución de la disponibilidad vrs utilización de las unidades de laboratorio en los tratamientos de baja complejidad	98
30	Planteamiento visual del problema en los tratamientos de baja complejidad (unidad de andrología)	99
31	Distribución de la disponibilidad vrs utilización de las unidades de laboratorio en los tratamientos de alta complejidad	117
32	Planteamiento visual del problema en los tratamientos de alta	

No.	Título	Página
	complejidad (unidad de embriología)	118
33	Resultados de aplicación del método simplex utilidad por unidad de laboratorio	134
34	Comparativo escenarios de utilidad satisfaciendo la demanda mínima esperada y utilidad aprovechando al máximo los recursos disponibles	134

ÍNDICE DE GRÁFICOS

No.	Título	Página
1	Organigrama de la empresa Gestar, centro de fertilidad	45

ÍNDICE DE FLUJOGRAMAS

No.	Título	Página
1	Pasos para realizar análisis de muestra de semen	50
2	Pasos para preparación de muestras de semen (swin up) para inseminación artificial o fecundación in vitro en el laboratorio de andrología	53
3	Pasos para congelación de semen por medio de píldoras	56
4	Pasos de la fecundación In Vitro e ICSI	61

ÍNDICE DE TABLAS

No.	Título	Página
1	Tiempo requerido por actividad en la realización de análisis de muestra de semen en andrología	51
2	Tiempos requeridos en las actividades para preparación de muestras de semen en el laboratorio de andrología	54
3	Tiempos requeridos en las actividades para congelar muestras de semen por píldoras	57
4	Tiempos requeridos en actividades de realización de Fecundación In Vitro y Fecundación in vitro con inyección de espermatozoide	63
5	Demanda del servicio fecundación In Vitro convencional al centro en 6 años	85
6	Demanda del servicio fecundación In Vitro convencional con inyección intracitoplasmática de espermatozoides al centro en 4 años	85
7	Demanda del servicio acumulación de óvulos al centro en 4 años	85

ÍNDICE DE IMAGENES

No.	Título	Página
1	Ilustración diferencia FIV – ICSI	62

ÍNDICE DE ANEXOS

No.	Título	Página
1	Presupuesto unidad de Andrología	150
2	Presupuesto laboratorio de Embriología	158
3	Solución con aplicación Solver en excel unidad de andrología	162
4	Solución con aplicación Solver en excel unidad de embriología	163
5	Pasos para utilizar la herramienta Solver de excel y ejemplo de Aplicación	164
6	Cuadro control de precios materia prima de laboratorio	167
7	Punto de equilibrio anual para el departamento de Laboratorio	168

INTRODUCCIÓN

La economía ha crecido de forma acelerada en todo el mundo y la competencia en el mercado de productos y servicios, se ha intensificado en las últimas décadas. Esto hace necesario que las empresas deban ofertar con valores agregados que, además de proveer un producto o servicio que alcance las expectativas del cliente, sea eficiente y genere utilidad de manera sostenida y con calidad, máxime si se trata de un servicio en el área de salud.

Para lograr lo anterior, es importante conocer aquellos escenarios en los cuales, una organización opera y competir en un ambiente, donde la eficiencia y la eficacia son las piedras angulares para un desarrollo sostenible. En un mercado tan dinámico como el actual, se hace necesaria la búsqueda de modelos matemáticos, que den soluciones factibles y certeras en la utilización de los recursos de una manera viable y efectiva, sin importar el ámbito en el que se desarrolla, modelos que además, puedan ser actualizados al ritmo necesario que le permitan mantenerse a la vanguardia sin perder la sostenibilidad.

Tomando como base lo anterior, se presenta el trabajo titulado “Utilización del modelo matemático determinístico Simplex para optimizar recursos en un laboratorio especializado en infertilidad y reproducción humana en Guatemala”, el cual permitirá conocer la combinación adecuada de servicios que deben ofrecerse, para optimizar los recursos de la organización y a la vez, mantengan los resultados satisfactorios sin sacrificar la utilidad, obteniendo el máximo beneficio que puede esperarse de forma sostenida.

Este estudio consta de tres capítulos: en el primer capítulo, se presenta el marco teórico que fundamenta la investigación, seguido del capítulo dos, que describe la situación actual de la organización, su estructura y los principales servicios estudiados con un flujograma de las actividades que forman parte de cada uno

de los procesos. También incluye el costeo estándar elaborado para obtener la utilidad real de cada uno de los procedimientos estudiados y la información relevante de la empresa que fue utilizada como base para el desarrollo del tercer capítulo.

En el capítulo tres, se desarrolla el modelo matemático simplex para determinar la combinación óptima de servicios para cada una de las unidades que conforman el laboratorio especializado del centro y conocer, cuál es el máximo beneficio que puede esperarse de los recursos en cada unidad y en consecuencia en el laboratorio completo.

Para finalizar se enumeran las conclusiones y recomendaciones del presente estudio, las cuales apoyaran el cumplimiento de los objetivos de la organización, fin último del presente trabajo de investigación, con su respectiva bibliografía y anexos, fuentes de información del mismo.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Para el sustento teórico de la presente investigación y conociendo la importancia de proveer un marco de referencia al lector, se expone el siguiente marco teórico donde se exponen los conceptos que amplían la comprensión de la metodología utilizada y las ideas presentadas para proporcionar al lector una noción más clara del tema.

1.1 Los centros especializados en infertilidad y reproducción humana en el mundo

En el mundo, existe una innumerable cantidad de centros de fertilidad y reproducción humana, los cuales tuvieron sus inicios en los años 70's logrando el primer nacimiento por medio de técnicas especializadas como la Fecundación In Vitro en 1978. En España se encuentra el mayor equipo de Reproducción Asistida del mundo, el Instituto Valenciano de Infertilidad –IVI-, “con más de 70 clínicas en 13 países de los diferentes continentes y más de 2000 profesionales en todos sus centros”. (Instituto Valenciano de Infertilidad, 2017)

1.1.1 Centro especializado en infertilidad y reproducción humana

Es el lugar que reúne el equipo, personal e instalaciones adecuadas para el estudio y tratamiento de la pareja infértil, proveyendo el tratamiento adecuado para cada caso en particular que ayude a lograr un resultado positivo luego de un minucioso análisis. El Instituto Valenciano de Infertilidad –IVI-, inició en el año 1990 y “actualmente tiene clínicas de Fertilidad en España, Centros en Estados Unidos, Argentina, Brasil, Chile, Emiratos Árabes Unidos, India, Italia, México, Omán, Panamá, Portugal y Reino Unido, con más de 160,000 bebés nacidos vivos a lo largo de su historia, tiene una tasa de embarazo acumulada

en el primer intento que ya ha alcanzado el 54% en tratamiento con óvulos propios y superado el 70% con ovodonación, y que supera el 97% en tres intentos”. (Instituto Bernabéu, 2017)

Las principales características que debe tener un centro de fertilidad son:

A. Organización: para ofrecer una atención personalizada y acorde, cada centro de fertilidad cuenta con unidades especializadas para el logro de los mejores resultados en el campo de la medicina reproductiva. “El centro de reproducción humana más grande del mundo cuenta con las siguientes unidades especializadas:

- Endocrinología
- Genética
- Apoyo psicológico
- Cirugía ambulatoria
- Medicina materno-fetal
- Pediatría
- Laboratorio de Fiv
- Laboratorio de andrología y general
- Cirugía
- Medicina reproductiva
- Salud del varón
- Mama
- Inmunología
- Endometriosis
- Salud de la mujer
- Gestión de congelados” (Instituto Valenciano de Fertilidad, 2017)

Todos los departamentos se encuentran de cierta manera relacionados. Para que un laboratorio de fertilidad funcione correctamente “es importante garantizar la diversidad dentro del equipo, sin duda, esto lo enriquece, que los integrantes del equipo aporten diferencias en conocimientos, formas de pensar y de ser, modos de sentir y de relacionarse es un estímulo para el logro del alto rendimiento”. (Instituto Bernabéu, 2017)

Dos ramas de la ciencia, son los ejes fundamentales de un laboratorio de reproducción asistida: “la andrología, que origina el estudio de la pareja infértil y provee las herramientas para un tratamiento de baja complejidad, y la embriología, cuando se requiere la utilización de técnicas más complejas para incrementar la probabilidad de lograr un embarazo, el resto de departamentos, sirven de complemento en la prestación del servicio que se brinda”. (Instituto Valenciano de Fertilidad, 2017)

Para obtener utilidad en un laboratorio especializado, es necesario conocer la capacidad de operación con la que se cuenta y el margen de utilidad que cada servicio produce para centrar los esfuerzos hacia aquellas actividades que mantengan a flote la organización y la vuelvan autosustentable. También es importante conocer a detalle todos los servicios prestados, para tomar decisiones certeras y apegadas a la realidad en la que se está operando.

B. Personal calificado: para llevar a cabo tratamientos de fertilidad, se requiere como mínimo el siguiente “personal calificado:

- Ginecólogo
- Endocrinólogo
- Anestesiólogo
- Embriólogo

- Andrólogo
- Urólogo
- Enfermera
- Psicólogo
- Genetista

C. Tecnología: para el logro de los resultados deseados, un centro especializado en infertilidad y reproducción humana, debe trabajar con las técnicas más innovadoras, lo que requiere el equipo más completo y actualizado que se ha desarrollado. Equipo necesario para realizar técnicas como la microinyección espermática o el embryoscope, utilizan equipo de última generación como: micromanipuladores, incubadoras, microscopios, cámaras, entre otros” (Instituto Valenciano de Fertilidad, 2017)

1.1.2 Tratamientos de fertilidad

En los centros especializados en el tratamiento de la infertilidad y reproducción humana, se realizan tratamientos que responden a las necesidades de cada caso en particular, con la complejidad necesaria para “brindar apoyo y proveer soluciones a cada pareja o persona que acude por ayuda”. (Gestar, centro de fertilidad, 2017)

Hoy en día “existe una mayor apertura de la población hacia los tratamientos de fertilidad, una mayor disposición masculina hacia la investigación de la infertilidad, por el machismo imperante en décadas pasadas” (Botella, 1999) que ha disminuido en los últimos años, son factores que aumentan el auge de reproducción humana, pero que a la vez, también están acompañados de otros factores como “una nupcia tardía y una aceptación de la esterilidad sin muchas

veces, consultar sus causas” (Botella, 1999), suponen un reto para los centros especializados.

“La gran mayoría de las parejas con infertilidad pueden ser tratadas con métodos sencillos. En un 80% de ellas, el tratamiento se basa en corregir las causas de la infertilidad o en el uso de tratamientos de baja complejidad como una inducción a la ovulación o una inseminación artificial” (Girado, 2018) , otras, requieren la utilización de técnicas más avanzadas y complejas como los tratamientos de alta complejidad (Fecundación in vitro).

1.1.2.1 Tratamientos de baja complejidad

“Se llaman tratamientos de baja complejidad, porque favorecen la unión del espermatozoide y el óvulo dentro de la trompa de Falopio, en estos tratamientos se encuentra la estimulación ovárica, inseminación intrauterina o inseminación artificial y coito programado” (Instituto Bernabéu, 2017), este último, no requiere la utilización de un departamento de andrología. Los principales tratamientos de baja complejidad que trabaja un laboratorio de andrología son:

- a. Análisis de espermatozoides (espermograma):** este es un test en el cual se examinan las características microscópicas del semen, para determinar si este se encuentra dentro de los parámetros normales. Gracias a este test, se puede saber entre otras cosas, la cantidad de espermatozoides y cómo se encuentra su movilidad. Según la definición del Instituto Valenciano de Infertilidad (IVI), “es una prueba diagnóstica que mide la concentración de espermatozoides, su movilidad y morfología a fin de descartar o evidenciar posibles alteraciones”. (Instituto Valenciano de Fertilidad, 2017)

- b. Preparación de muestras para inseminación artificial o Fecundación In Vitro (Swim up / gradientes):** para poder llevar a cabo una inseminación artificial o una Fecundación In Vitro, se hace necesario capacitar la muestra de espermatozoides que la parte masculina proporciona, para lograr un procedimiento que cumpla con los parámetros establecidos para su realización. De acuerdo al Instituto Bernabéu, “para ser capaces de fecundar, los espermatozoides del eyaculado deben sufrir un proceso denominado capacitación espermática. Este se da de forma natural en el aparato reproductor femenino y desde hace años se han desarrollado técnicas para poder llevarlo a cabo en el laboratorio. Cuando se llevan a cabo técnicas de reproducción asistida, se hace necesario reproducir este fenómeno In Vitro. Existen dos técnicas fundamentales de capacitación: swim up y gradientes de densidad, el primero es la técnica más antigua y extendida, y consiste en concentrar en el fondo de un tubo todas las células del eyaculado, se añade medio de cultivo en pequeña cantidad y se incuba la muestra para permitir que los espermatozoides móviles escapen desde el concentrado del fondo hasta el medio de cultivo para ser recuperados; mientras que los gradientes de densidad consiste en hacer pasar los espermatozoides por un medio muy denso de tal forma que solo los móviles y de mejor morfología consiguen atravesarlo”. (Instituto Bernabéu, 2017)

De acuerdo a la concentración de espermatozoides, se puede determinar una patología y recomendar una técnica asistida que permita los resultados deseados. “Si se presenta una concentración menor a 15 millones / ml se trata de una oligozoospermia u oligospermia, lo cual puede requerir de una inseminación artificial para lograr el embarazo, ya que la inseminación artificial responde a un factor masculino leve. Pero, con una concentración menor a 100,000 espermatozoides/ml, se

requiere una técnica más avanzada de recuperación de espermatozoides” (ORG, 2015) con una Fecundación In Vitro o ICSI. Al no existir espermatozoides, “se debe recurrir a ayudas adicionales, como el banco de semen”. (Instituto Marques, 2017)

La capacitación seminal requiere como primer paso, el análisis del semen (espermograma), ya que el informe emitido en la inseminación artificial, contiene los resultados del análisis realizado a la muestra previa capacitación espermática. “La tasa de éxito para una inseminación artificial varía dependiendo de las causas que dieron origen a su utilización (edad, calidad de la muestra de espermatozoides, madurez del óvulo alcanzado durante el proceso previo a la inseminación, entre otros), pero en general se maneja entre un 22% y 30% de resultados positivos”.(Gestar, centro de fertilidad, 2017)

- c. **Congelación de espermatozoides para preservación de fertilidad (congelación por medio de píldoras):** este proceso permite conservar la fertilidad masculina de forma sencilla y segura, a lo largo del tiempo.

El instituto Bernabéu la describe como “la custodia seminal, donde los espermatozoides se someten a un proceso de congelación en vapores de nitrógeno líquido en el cual va disminuyendo la temperatura de forma progresiva para minimizar el daño y la muerte celular. Finalmente se almacenan en tanques de nitrógeno líquido a una temperatura de 196° C hasta el momento de su uso”. (Instituto de Bernabéu, 2017)

Al descongelar los espermatozoides, unos mueren en el proceso, sin embargo, “se logra una buena recuperación (cerca del 99%) y estos mantienen en gran porcentaje, la calidad que presentaban antes de ser congelados, es decir estando en fresco” (Gestar, centro de fertilidad,

2017). Cada día se logra una mejor técnica de congelación y una menor pérdida de espermatozoides al descongelar, por el perfeccionamiento de la técnica y de la experiencia del encargado del proceso. Cabe resaltar, que, para llevar a cabo la congelación, “se estudia y capacita previamente la muestra”, (ORG, 2015) por lo que se requiere realizar los dos procesos anteriores (análisis y capacitación seminal), antes de realizar la congelación se emite un informe con toda la información acerca de la muestra para elegir el mejor tratamiento a realizar, al momento de descongelar la muestra para lograr el mejor resultado posible.

Los casos más frecuentes en donde se recurre a la congelación de espermatozoides son: “previo a una vasectomía, tumor testicular, pacientes con tendencia a la pérdida de calidad seminal y requieren preservar su fertilidad, pacientes que serán sometidos a tratamientos de radioterapia y quimioterapia, pacientes que realizarán una inseminación artificial donde no podrán estar disponibles para dar la muestra el día en que se realizará el tratamiento”, (Instituto de Reproducción, 2018) llamada muestra en fresco.

Para realizar los procesos anteriores, se requiere estudiar a fondo el costo de funcionamiento del laboratorio donde se realizan para lograr la optimización de los recursos.

Otros procedimientos en los que interviene un laboratorio de andrología son: “biopsia testicular, recuperación de espermatozoides móviles (REM), técnica de selección de espermatozoides MACS, donación de semen, congelación de semen en pacientes, entre otros”. (Gestar, centro de fertilidad, 2017)

1.1.2.2 Tratamientos de alta complejidad

Se denominan tratamientos de alta complejidad, porque como su nombre lo indica, “requieren de técnicas más complejas para su realización y una mayor especialización del recurso humano. Se llevan a cabo fuera del cuerpo humano y requieren un tiempo mayor para su realización” (Instituto Valenciano de Fertilidad, 2017). Aquí se encuentran la Fecundación In Vitro (FIV), la inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI), la acumulación de óvulos para posterior realización de ICSI, congelación de embriones, transferencias de embriones descongelados, extracción y congelación de óvulos para preservación de la fertilidad femenina. Los principales tratamientos que realiza un laboratorio de embriología son:

- a. **Fecundación In Vitro convencional (FIV):** “la Fecundación In Vitro o FIV, es la unión del óvulo con el espermatozoide en el laboratorio – *in vitro*-, con el fin de obtener embriones ya fecundados para transferir al útero materno”, (Instituto Valenciano de Fertilidad, 2017) esto de acuerdo a la definición dada por el Instituto Valenciano de Infertilidad (IVI). Se llama convencional ya que el proceso de fecundación no requiere asistencia por medio de inyección de espermatozoides.

Para realizar la Fecundación In Vitro, “una paciente debe ser sometida a una estimulación ovárica controlada con el propósito de inducir una ovulación múltiple a través de la inyección o toma de hormonas” (Instituto Bernabéu, 2017), siguiendo un control de estos folículos por medio de ultrasonido, en donde el experto controla su crecimiento y determina el momento ideal para extraerlos cuando estos han alcanzado en su mayoría, el diámetro esperado. La estimulación ovárica puede durar hasta 14 días y se realiza con el propósito de obtener más de un óvulo fecundable y por tanto más de un embrión para transferir al final

del proceso. Esto se debe a que no todos los óvulos obtenidos fecundan y no todos los fecundados sobreviven hasta el final del cultivo, se tiene entendido que aproximadamente el 70% de los óvulos extraídos fecundan. Una estimulación ovárica controlada tiene un costo entre USD.800.00 y USD.1, 800.00 según el esquema de medicación elegida para la paciente, de acuerdo a su caso en particular.

Un ciclo de Fecundación In Vitro desde su estimulación hasta la transferencia de embriones dura un poco más de dos semanas. El proceso es el siguiente: estimulación ovárica controlada, extracción de óvulos por medio de una punción o aspiración folicular con sedación, fecundación In vitro (unión del óvulo con el espermatozoide), cultivo de embriones con una duración entre tres y cinco días y la transferencia embrionaria, que es el último paso del tratamiento. “Si existen embriones sobrantes, se pueden congelar para intentos posteriores” (instituto Marques, 2017) ya que el número ideal de embriones a transferir es de dos con un máximo de tres.

Las principales indicaciones para realizar una Fecundación In Vitro son: “tres o más intentos fallidos de inseminación artificial, obstrucción de las trompas de Falopio o si estas han sido cortadas (pomeroy), pacientes con edades superiores a los cuarenta años” (Gestar, centro de fertilidad, 2017) y otros que el médico considere válidos para realizar este proceso, de acuerdo a su experiencia y estudio.

El porcentaje de éxito para una Fecundación In Vitro, “depende de varios factores como la edad de la paciente, la calidad seminal, la condición de los óvulos y embriones, entre otros” (Instituto Marques, 2017). Por ejemplo, una paciente mayor de cuarenta y dos años tiene una probabilidad de embarazo de menos de diez por ciento, si realiza el

tratamiento con óvulos propios, además de los riesgos que presenta un embarazo concebido naturalmente a esa edad; pero, si recurre a la donación de óvulos, la probabilidad de lograr un embarazo aumenta. En general se puede esperar que aproximadamente tres de cada cinco mujeres sometidas a este tratamiento, logren un resultado positivo. Catorce días después de la punción folicular, se realiza una prueba de embarazo que determina si se logró o no, el resultado deseado.

Se puede llegar a creer que la probabilidad de embarazo esperada con este tratamiento es baja, sin embargo, es importante mencionar que se trata de parejas cuya probabilidad de obtener un embarazo de forma natural es mucho más baja o casi nula, por lo que estos tratamientos buscan mejorar sus probabilidades de lograr un resultado positivo.

Para realizar la unión del óvulo con el espermatozoide, el laboratorio de embriología recurre a los servicios del laboratorio de andrología, ya que la muestra de semen debe ser preparada (capacitación seminal) por el laboratorio de andrología, antes de llevarse a cabo el proceso de Fecundación In Vitro.

El laboratorio de Fecundación In Vitro (embriología), requiere personal altamente capacitado y equipo de última tecnología, para llevar a cabo esta clase de procedimientos al nivel de los laboratorios europeos o de los países del primer mundo.

- b. Fecundación In Vitro con inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI):** en este proceso, se realizan los pasos de la Fecundación In vitro convencional a excepción de la parte donde se une el óvulo con el espermatozoide, ya que este caso, requiere de “un proceso adicional que es la inyección intracitoplasmática de

espermatozoides” (Botella, 1999), lo que quiere decir que el esperma es inyectado directamente en el óvulo, no fecundado de forma natural.

De acuerdo al Instituto Valencia de Infertilidad (IVI) “La inyección intracitoplasmática (ICSI) es una técnica de reproducción asistida incluida en el tratamiento de FIV que ha permitido conseguir con éxito el embarazo en parejas diagnosticadas de un factor masculino severo. El varón deberá proporcionar una muestra de semen o realizar una biopsia testicular – en caso necesario- para extraer y seleccionar los mejores espermatozoides que serán utilizados para la fecundación de los ovocitos”. (Instituto Valenciano de Fertilidad, 2017) En términos sencillos se puede decir que se requiere una cantidad menor de espermatozoides que en una Fecundación In Vitro convencional, ya que el biólogo toma un espermatozoide y un óvulo y lo fecunda por así decirlo, de forma manual, asistiéndose del microscopio, micromanipulador, láser, entre otros instrumentos, incluyendo realizar una decumulación de los óvulos. Para lograrlo, debe tomar el óvulo y realizar una pequeña abertura en él con el láser (ICSI asistido) o bien, con otro instrumento y luego introducir el espermatozoide para ayudar a la fecundación. Previo a la transferencia, existe un seguimiento del embrión para comprobar que la fecundación fue exitosa.

“Cuando la cantidad de espermatozoides es escasa, las probabilidades de éxito de esta técnica son mayores a la de una Fecundación in Vitro convencional (FIV), dado que para este procedimiento (ICSI) solo se requiere un espermatozoide por óvulo. La indicación principal para determinar la necesidad de utilizar esta técnica es por factor masculino grave (baja concentración espermática, biopsia testicular previa, baja movilidad de los espermatozoides, mala morfología, entre otros), lo que significa que al tener una baja concentración de espermatozoides, la

probabilidad de fecundación del óvulo es casi nula, dado que la cantidad normal de espermatozoides que debe tener un eyaculado para concebir un embarazo de forma espontánea es 15 millones / ml. Sin embargo, actualmente en más del 75% de los casos, se aplica ICSI, en otras palabras, no se limita su utilización únicamente al factor masculino grave”. (Asociación española de fertilidad, 2017)

- c. **Acumulación de óvulos (vitrificación de óvulos para complementar el número ideal de óvulos en futuros tratamientos de fertilidad):** como se mencionó anteriormente, la estimulación ovárica tiene como objetivo obtener varios óvulos fecundables para lograr más de un embrión para transferir. Sin embargo, existen casos en donde se obtiene una baja respuesta ovárica y el número de óvulos extraídos, no es la ideal para realizar el tratamiento.

“Es por ello que nace la llamada acumulación de óvulos, con el propósito de realizar más de una sola estimulación ovárica, extrayendo los óvulos obtenidos en ella, congelarlos e iniciar una nueva estimulación en un siguiente ciclo menstrual de la mujer con el propósito de obtener una cantidad suficiente de óvulos para realizar un tratamiento de Fecundación In Vitro. Luego se agrupan todos los óvulos y se realiza una sola Fecundación In Vitro en la última extracción. Es decir, al llegar al número ideal de óvulos luego de varias extracciones, se descongelan los óvulos que fueron congelados previamente y se realiza un solo proceso de fecundación con todos los óvulos. Esto provee un número ideal de embriones, sin desembolsar la cantidad de dinero que significaría realizar varios intentos completos de fecundación In Vitro, puesto que es más económico congelar óvulos y realizar una sola fecundación con todos ellos, que fecundar cada vez que se extraen y

congelarlos para posteriormente transferir el número ideal”. (Instituto Bernabéu, 2017)

Esta técnica, que incluye la vitrificación para obtener entre 5 y 8 óvulos después de varias extracciones, tiene como objetivo llegar a un número de ovocitos similar al de una paciente con respuesta ovárica normal, y de esta manera, incrementar la probabilidad de obtener resultados positivos. “Alrededor del 70% de los óvulos fecundan durante el proceso y un porcentaje más bajo sobrevive al finalizar el cultivo embrionario, lo que significa que de contar con un número reducido de ovocitos, es probable que al final del tratamiento, no queden embriones para transferir”. (Instituto Marques,2017)

En general, un laboratorio de embriología realiza procedimientos complementarios tales como: diagnóstico genético preimplantación o preimplantation genetic diagnosis (PGD por sus siglas en inglés), vitrificación de embriones, transferencia de embriones desvitrificados, donación de óvulos, test prenatal no invasivo, entre otros.

1.2. Los modelos matemáticos y la toma de decisiones basados en ellos

La toma de decisiones encuentra su punto de inicio con el reconocimiento del problema y la necesidad de dar una respuesta adecuada y viable; dando paso a la aplicación de un modelo de decisión que responda mejor a la situación encontrada y sopesa aquellas variables controlables y no controlables, que intervienen en el problema. “Es decir, que estas variables se refieren a las limitantes, los recursos, el capital humano, la materia prima y otros, que son factores determinantes en un proceso y que intervienen directamente en el resultado de la operación. Esto ayudará a encontrar alternativas viables de

solución que puedan ser analizadas, con el objetivo de establecer cuál es la mejor opción al momento de realizar el análisis”.(Rodríguez, 2008)

La solución de un problema encuentra su forma cuando se presenta un escenario que requiere una acción, esta acción se obtiene con la aplicación de un modelo matemático, siendo necesario conocer de qué se trata este último, cómo auxilia a la búsqueda de soluciones viables y cómo opera para lograrlo.

Se puede decir que “Un modelo matemático captura algún aspecto o determinados aspectos de la realidad, que, si no son escudriñados en todas sus variables, pueden volverlo inapropiado en algunas ocasiones, por carecer de veracidad. Al capturar elementos de la realidad de manera sesgada o distorsionada, un modelo matemático se vuelve inadecuado y poco conveniente, en caso contrario, adquiere un grado aceptable de precisión”. (Durán, 2002)

Por medio del modelo, un analista tendrá una herramienta manipulable en el análisis del sistema que se encuentra estudiando, sin que el mismo se vea afectado, ya que, mediante un proceso de prueba y error, puede determinar los diferentes escenarios que existen para una misma situación.

El problema que es evaluado en el sistema, debería encontrar solución en el resultado obtenido del modelo, siendo este un resultado válido, producto del rendimiento del sistema que, a su vez, es una representación del modelo matemático, que aplica las técnicas analíticas adecuadas. El grado en que el modelo representa el sistema en estudio, determina la efectividad de los resultados de la aplicación de la técnica operativa utilizada.

El analista debe en primera instancia, medir el sistema utilizando el criterio identificado para definir las condiciones que propiciarán la solución del problema, la medida de efectividad o rendimiento es el nombre por el cual suele

denominarse al criterio de medición. Las utilidades o pérdidas, es la medición de la efectividad en las aplicaciones empresariales, mientras que en las áreas gubernamentales, es el costo/beneficio.

“Un modelo matemático es una herramienta utilizada para analizar y representar un proceso, tomando en cuenta las variables con las que se relaciona y la incidencia que tienen sobre él, permitiendo escudriñar las diversas posibilidades de respuesta ante un fenómeno en particular sin recurrir a la realidad física.

En un modelo matemático, la función objetivo describe la medida de efectividad y su comportamiento, debiendo capturar la relación entre aquellas variables que fluctúan en la efectividad y su relación con esa medida. La variable de decisión y los parámetros, son las categorías del sistema, siendo la primera, una variable que el decisor puede controlar directamente, aunque existen algunos parámetros cuyos valores pueden serle inciertos, lo que hace necesario realizar un análisis de sensibilidad luego de encontrar la mejor estrategia. La relación precisa entre todas las variables del sistema y la medida de efectividad, es casi imposible de capturar en la práctica a través de una ecuación matemática”. (Cárdenas, 1978)

Dado lo anterior, se puede definir un modelo matemático como la descripción, desde el punto de vista de las matemáticas, de una situación real como un fenómeno físico como la aceleración o la velocidad, cuyo objetivo es entender dicha situación y quizá, predecir su comportamiento futuro.

Para elaborar un modelo matemático, se realiza el siguiente proceso:

- A. “Dado un problema del mundo real, se comienza por realizar el enunciado de forma comprensible para ser analizado y definir las variables que contiene.
- B. Luego, formular el modelo matemático sobre el enunciado definido e identificar las variables dependientes e independientes y establecer

su hipótesis. Para que el mismo pueda tratarse de manera matemática, debe ser lo suficientemente simple.

- C. Enunciar las conclusiones matemáticas a las que se ha llegado, una vez aplicados los conocimientos matemáticos adquiridos.
- D. Realizar la comprobación de las predicciones (datos) obtenidas, con los datos reales. Si los mismos no son iguales, el proceso se debe reiniciar”, (Fula:2010)

Un modelo matemático, trata de una idealización, por tanto, no es exacto en su totalidad. “Hay una gran cantidad de funciones que representan relaciones observadas en el mundo real; tanto algebraicamente como gráficamente”. (Fula, 2010)

1.2.1. Tipos de modelos matemáticos

Los modelos matemáticos que pueden encontrarse son:

1.2.1.1 Teóricos o empíricos

“Un modelo tiene como característica fundamental su carácter teórico o empírico. El modelo empírico se basa en el resultado experimental, las relaciones estadísticas que son significativas entre variables, mientras que un modelo teórico tiene base en las leyes físicas que rigen un proceso”. (Hurtado, 2006) En estos modelos, existen procesos aleatorios que ligeramente modifican algunas variables, por lo que para un mismo grupo de datos de entrada, las salidas podrían no ser siempre las mismas.

1.2.1.2 Estocásticos o deterministas

“En un modelo estocástico se incorpora la incertidumbre, dado que no se conoce con certeza algún dato, siendo al azar y las funciones probabilísticas rigen las relaciones entre variables”. (Suárez, 2011)

En los modelos deterministas parte de la premisa que entradas iguales, producen salidas iguales. En él, no existe la incertidumbre ni el azar, ya que los datos son conocidos con certeza.

1.2.1.3 Estáticos o dinámicos

“En los modelos estáticos se caracteriza la representación de un punto particular en el tiempo, donde se requiere una ecuación única, mientras que los modelos dinámicos, se caracterizan por el cambio que el tiempo produce en sus variables”. (Sarmiento, 2017)

1.2.1.4 Agregados o distribuidos

“Un modelo matemático agregado es aquel que considera de forma conjunta, todo el área de estudio. El modelo no informa lo que ocurre dentro del sistema, predice unas salidas para las entradas aportadas.

Dentro de un modelo distribuido, toda el área está dividida en porciones, cada una con sus propias variables y propio conjunto de parámetros. Si se opta por un modelo distribuido es necesario establecer un modelo de datos espaciales que permita asignar valores de los parámetros y las variables de estado a los diferentes puntos del área de estudio”. (Instituto de tecnología avanzada, 2015)

1.2.2 Modelo matemático de programación lineal

A continuación, se desarrolla lo conducente a la programación lineal, cuyo proceso de optimización y resultados, respaldan cuantitativamente las decisiones tomadas frente a situaciones que se han planteado. Estas deben tener en cuenta que existen también diversos criterios administrativos como lo son: la experiencia, los hechos, la autoridad y la intuición. “La programación lineal (PL), corresponde a un algoritmo por medio del cual se resuelven situaciones reales donde se pretende identificar y resolver problemas de producción, incremento de beneficios, entre otros. Su objetivo primordial es maximizar o minimizar funciones lineales, tomando en cuenta las restricciones para optimizar una función objetivo lineal”. (Arshem, 1996)

Por lo anterior, se puede definir a la programación lineal como “un procedimiento matemático que determina la asignación óptima de recursos que son limitados y encuentra su aplicación práctica, en la mayoría de las facetas de los negocios, siendo los más comunes: problemas de transporte, planificación global de la producción, distribución, publicidad, etc.

En la programación lineal, son lineales la función objetivo a optimizar y las relaciones entre las variables de los recursos de los problemas de programación que se abordan. En los años 40, fueron resueltos por primera vez estos problemas. Pocas veces una nueva técnica matemática encuentra una gama tan diversa de aplicaciones prácticas de negocios, comerciales e industriales y a la vez, recibe un desarrollo teórico tan exhaustivo en un período tan corto. En tiempos recientes, la teoría de la programación lineal contribuyó a la resolución y unificación de diversas aplicaciones”. (Arshem, 1996)

Es importante entender desde el comienzo que el término "programación" es distinto cuando se refiere a programación lineal que cuando se habla de programación informática. En el primer caso, "significa planificar y organizar mientras que, en el segundo, escribir las instrucciones para realizar cálculos. El término programación lineal se acuñó antes de que la palabra programación se relacionara con el software de computación. La confusión se puede evitar utilizando el término optimización lineal como sinónimo de programación lineal.

Todos los problemas de programación lineal constan de una función objetivo y un conjunto de restricciones. En la mayoría de los casos, las restricciones provienen del entorno en el cual se trabaja para lograr un resultado determinado. Cuando se quiere lograr el objetivo deseado, se puede observar que el entorno fija ciertas restricciones (es decir, dificultades, limitaciones) para cumplir lo deseado (el objetivo).

Una función es una cosa que hace algo. Para ejemplificar, una máquina de moler café tiene como función transformar los granos de café en polvo. La función (objetivo) traza, es decir, traduce el dominio de entrada (región factible) en un rango de salida con dos valores finales denominados valores máximo y mínimo.

Para formular un problema que requiere toma de decisiones como lo es un programa lineal, debe verificar que se cumpla con las siguientes condiciones:

1. La función objetivo debe ser lineal. Debe verificar que las variables estén elevadas a la primera potencia y que sumen o resten, no dividan ni multipliquen entre sí.

2. El objetivo debe ser una representación de la meta del decisor, debiendo ser, ya sea de maximización o minimización de una función lineal.
3. Las restricciones también deben ser lineales, también, la restricción debe adoptar una de las siguientes formas (\leq , \geq , $=$), lo que significa que en la programación lineal, las restricciones siempre deben ser cerradas". (Arshem, 1996)

1.2.2.1 Aplicaciones de la programación lineal

Las aplicaciones en las que se puede utilizar la programación lineal son innumerables, siendo una herramienta poderosa para escoger alternativas en un problema de decisión y como resultado, en una vasta variedad de entornos. Algunas de las aplicaciones principales en las que puede utilizarse el modelo son las siguientes:

- A. **“Recurso financiero:** para un inversor, la selección de su cartera de inversiones, puede representar un problema. La variedad de esta cartera puede ser mucho más grande y generar muchas más restricciones. De igual manera, otro problema sobre decisión puede ser determinar la combinación de métodos de financiación para una situación particular cuando existe más de una forma de financiamiento. Otra posible aplicación puede ser escoger la forma de incrementar la utilidad, cuando la misma depende del método de financiación escogido. En ello, puede existir limitaciones con respecto a la disponibilidad de cada una de las opciones de financiación, así como restricciones financieras que exijan determinadas relaciones entre las opciones de financiación a los efectos de satisfacer los términos y condiciones de los préstamos bancarios o financiación intermedia. Asimismo, puede

encontrar límites en cuanto a la producción de productos, por ejemplo, las variables de decisión (restricciones), podrían ser la cantidad de unidades que deben financiarse por cada opción de financiación.

- B. **Administración de producción y operaciones:** la materia prima (MP) puede ser transformada en una gran variedad de productos dentro de las industrias de proceso. Como ejemplo, puede mencionarse el crudo de la industria petrolera, que puede refinarse y producir nafta, aceite para calefacción y además, otras clases de aceite. Conociendo el margen de ganancia que tiene cada producto en el momento del análisis, surge el problema de determinar la cantidad necesaria a fabricar de cada producto.

Para tomar esta decisión, se debe tener en cuenta las numerosas restricciones que existen, por ejemplo, disponibilidad de la materia prima, la capacidad de refinado de diversas operaciones, políticas gubernamentales, entre otros. De igual manera, en la industria de productos químicos se puede encontrar estos y otros problemas similares, tales como la demanda, el tiempo de vida en que los productos se conservan íntegramente, la logística de envío, entre otros.

- C. **Recurso humano:** la programación lineal también puede resolver problemas de planificación de personal. Para ejemplificar, habrá que referirse a la industria telefónica, donde la demanda de servicios de personal de instalación y reparación de líneas son utilizados por estaciones. El problema es determinar la cantidad de personal de esta especialidad, que debe incorporarse en la fuerza laboral para cada mes a fin de reducir los costos totales de contratación, rotación, tiempo extra y salarios en horas ordinarias. El conjunto de restricciones, comprende las mismas respecto a la demanda del servicio que es necesario

satisfacer, horas extra, limitantes y acuerdos, personal calificado y su disponibilidad para ser contratado. Este ejemplo es totalmente opuesto a la hipótesis de divisibilidad.

Cada mes, los niveles de fuerza laboral son los suficientemente altos como para redondear un número entero sin problemas, toda vez las restricciones no se violen. Una decisión de distribución está sujeta a restricciones que exigen que cada fábrica no pueda enviar más productos de los que tiene capacidad para producir". (Arshem, 1996)

1.2.2.2 Método gráfico

Hablar de este método, es referirse a un procedimiento de resolución de problemas de programación lineal que es limitado en cuanto al número de variables, dado que admite 2 variables si es un gráfico 2D y 3 si es 3D, pero también es muy rico en materia de interpretación de resultados incluyendo análisis de sensibilidad. "Consiste en representar cada una de las restricciones y encontrar en la medida de lo posible, el polígono (poliedro) factible, llamado el conjunto solución o región factible, en el cual, por razones trigonométricas, en uno de sus vértices se encuentra la mejor respuesta que sería la solución óptima". (RF Garay, 1996)

Este método atiende a las siguientes normas para solucionar matemáticamente los problemas.

- A. "Graficar las restricciones como si fueran igualdades y trazar la línea, utilizando papel milimetrado.

- B. Conforme se crea cada línea, se debe dividir la región en 3 partes respecto a cada línea. Para identificar la región factible para esta restricción en particular, se debe elegir un punto de cualquier lado de la línea y colocar las coordenadas en la restricción, al satisfacer la condición, se puede decir que el lado es factible, caso contrario, el otro lado es factible. En restricciones de igualdad, solo los puntos sobre la línea son factibles.

- C. Eliminar áreas no factibles. Una vez estén graficadas las restricciones, se debe generar una región factible no vacía (convexa), excepto que el problema sea no factible.

- D. Como mínimo, debe tener a la vez, un punto en común con la región factible. Opuesto a los problemas de minimización, donde se debe realizar lo opuesto, acercar al punto de origen la función objetivo de igual valor, paralela a sí misma y teniendo un punto en común con la región factible. El punto común es la que proporciona la llamada solución óptima. (Arshem:1996)

- E. “Para trazar es necesario igual a cero las restricciones, luego mediante el despeje de las ecuaciones se puede iniciar la tabulación que otorgará las coordenadas para esbozar cada una de las gráficas.

- F. Las soluciones óptimas se encuentran en el vértice del polígono”. (Salazar, 2018)

“Los pasos para realizar el método son:

- A. Hallar restricciones.

- B. Sustituir \geq y \leq por (=) para cada restricción.
- C. Trazar la línea correspondiente a cada renglón en el plano.
- D. El espacio que satisface las restricciones es el área factible.
- E. La solución óptima se obtiene al observarse la dirección en la cual aumenta la función objetivo”. (Rodríguez et al., 2018)

“ Un problema de programación lineal, se resuelve al hallar el polígono de soluciones Factibles, que es la solución más común del sistema de inecuaciones o condiciones o restricciones. El óptimo se encontrará en uno de estos vértices”. (Rodríguez, 2007)

1.2.2.3 Método simplex

“El método simplex, es la solución algorítmica que inicia la solución de problemas de PL, cuya implementación es eficiente para resolver una serie de problemas de ecuaciones lineales, utilizando una estrategia ambiciosa y salta de un vértice factible al siguiente adyacente. Este algoritmo termina en una solución óptima”. (Hernández, 2007)

“El auge de este método, se debe a que el método gráfico resulta limitado cuando se resuelven problemas de programación lineal con más de dos variables de decisión. No obstante, se puede encontrar una ilustración clara de la región factible y no factible, así como de los vértices”. (Chase, 2010) En el método gráfico es en donde se puede obtener una representación visual del problema, haciéndolo más comprensible y mejorando el proceso de racionalidad del mismo.

“El método simplex, consiste básicamente en el método Estándar, pero en él se desea encontrar la solución óptima atendiendo al as restricciones dadas”. (Rodríguez, 2007). El método simplex presenta una solución óptima o escenario que toma en cuenta las restricciones para presentar un resultado viable.

Las variables de holgura son introducidas en cada una de las restricciones de un problema dadas como inecuaciones, para ser convertidas en ecuaciones, paso necesario para la solución de un problema aplicando el método simplex. Una holgura, es la representación de la capacidad ociosa que tiene un recurso o factor productivo limitado. Cuando las holguras toman valor cero en la solución óptima, significa que el recurso disponible ha sido utilizado en su totalidad, caso contrario, existe capacidad ociosa dentro del mismo.

“Como todo algoritmo de resolución para modelos de Programación Lineal, desarrollado por George Dantzing en el año 1947, cuenta con un proceso de iteración que a través de secuencias, pasos o iteraciones, aproxima el valor óptimo en cada una de ellas, del problema lineal, si existe el mismo”. (Investigación de operaciones, 2018).

Para comprender el método simplex, es necesario conocer los siguientes conceptos:

- **Variable de holgura:** “representa un recurso no utilizado y es la diferencias entre ambos lados de la ecuación, pueden asumir forma de horas, máquinas o cualquier recursos semejante en diversos problemas de negocios. Se agregan a la restricción menor que o igual a”. (Render, Barry; Stair, Ralph; Hanna, Michael, 2012)

- **Tabla simplex:** es una tabla que resume las variables de un problema que será resuelto por medio del método simplex, armándose de forma tabular que contiene las constantes y coeficientes de un problema. (Durán, 2002)
- **Forma estándar:** “se dice que todo problema de programación lineal tiene forma estándar si para iniciar, las restricciones del problema son todas ecuaciones, además, las variables de decisión son no negativas en cada una de ellas y los elementos del vector de recursos son no negativos.

En notación matricial, el problema en forma estándar queda expresado:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Max (o Min) } z = cx \\ \text{s.a} \\ Ax = b \\ X \geq 0 \end{array} \right\}$$

En donde c, x, A y $b \geq 0$, como se indicó anteriormente. (Hernández, 2007)

Una solución básica factible, “es aquella que además de pertenecer a la región o área factible del problema se puede representar a través de una solución factible en la aplicación del Método Simplex satisfaciendo las condiciones de no negatividad y corresponderá a uno de los vértices del dominio de factibilidad, cuya coordenada se puede representar a través de un conjunto de restricciones activas” (Gestión de operaciones, 2011).

“El método Simplex se basa en la siguiente propiedad: si la función objetivo Z no toma su valor máximo en el vértice A , entonces existe una arista que parte de A y a lo largo de la cual el valor de Z aumenta.

Será necesario tener en cuenta que el método Simplex únicamente trabaja con restricciones del problema cuyas inecuaciones sean del tipo " \leq " (menor o igual) y sus coeficientes independientes sean mayores o iguales a 0. Por tanto habrá que estandarizar las restricciones para que cumplan estos requisitos antes de iniciar el algoritmo del Simplex. En caso de que después de éste proceso aparezcan restricciones del tipo " \geq " (mayor o igual) o " $=$ " (igualdad), o no se puedan cambiar, será necesario emplear otros métodos de resolución, siendo el más común el método de las Dos Fases” (PHP SIMPLEX, 2016)

“Una SBF es una solución factible en un vértice aumentada. Como los términos solución básica y solución básica factible constituyen partes esenciales del vocabulario utilizado en la programación lineal, es necesario conocer sus propiedades algebraicas.

Las variables que se hacen iguales a cero se llaman variables no básicas; todas las demás se llaman variables básicas. La solución que resulta es una solución básica. Si la totalidad de las variables básicas son no negativas, se tiene una SBF. Para cualquier solución básica, la solución en el vértice correspondiente se obtiene simplemente al quitar las variables de holgura. Dos soluciones básicas son adyacentes si son las mismas todas menos una. Trasládarse de una solución básica factible a una adyacente se realiza cambiando el estado de una variable de no básica a básica y viceversa para otra variable”. (ARC Pedraja, 2018)

1.2.2.3.1 Procedimiento de aplicación del método simplex

El método simplex cumplidas las condiciones para su aplicación, implica los siguientes pasos:

“Primer paso: se determina si la solución es óptima, viendo si Z puede ser incrementada al aumentar cualquier variable no básica. Esto se hace examinando los coeficientes de las variables (no básicas) en la función objetivo; si todos los coeficientes son no-negativos, la solución es óptima; si hay algún coeficiente negativo, la solución no es óptima.

Segundo paso: se determina la variable que sale de la base. Se selecciona aquella variable básica que llega primero a cero, cuando la variable va aumentando. Esto se hace examinando en cada restricción cuál es el límite de la variable que entra, que hace que la variable básica en esa ecuación llegue a cero.

Tercer paso: se determina la variable que sale de la base. Se selecciona aquella variable básica que llega primero a cero, cuando la variable que entra va aumentando. Esto se hace examinando en cada restricción cuál es el límite máximo de la variable que entra, que hace que la variable básica en esa ecuación llegue a cero.

Cuarto paso: Se determina la nueva solución básica, resolviendo el sistema por Gauss Jordan, de forma que las variables básicas queden en función solamente de no-básicas.

Se regresa al primer paso.

En las soluciones manuales del método simplex, se suele usar el método que resulta más cómodo porque no hay que escribir las ecuaciones completas en cada iteración, sino que se escribe en forma de tabla únicamente la información, necesaria para efectuar los cálculos”. (López, 1993)

A. Maximización: es el “Procedimiento algebraico por medio del cual se obtiene una combinación, de las variables de decisión, que es óptima, para maximizar el rendimiento” (RF Garay, 1996)

La maximización de los beneficios o utilidades, presente el escenario que aprovecha los recursos al máximo y genera la máxima obtención de beneficios.

B. Minimización: Es “un procedimiento algebraico por medio del cual se llega a una combinación, de las variables de decisión que es óptima y que permita obtener un mínimo en la función objetivo de interés” (RF Garay, 1996)

Los resultados obtenidos en el proceso de minimización, presentan el escenario donde se reducen costos o utilización de recursos y se obtiene una mejor distribución de los mismos.

Para poder utilizar con éxito el método, se debe tener en cuenta que es necesario establecer un objetivo que, en correspondencia a lo requerido, tenga como meta minimizar o maximizar la función objetivo, sin embargo, se presentan dos opciones: conseguir el valor óptimo mayor (maximizar) o encontrar el valor mínimo (minimizar).

“De igual manera, en el algoritmo utilizado ya sea para maximizar o minimizar el objetivo, existen diferencias en cuanto al criterio de condición de parada para dar

por finalizadas las iteraciones y la base de las condiciones de entrada y salida”. (Sarmiento, 2017) Ambas opciones (maximizar y minimizar) se ilustran de la siguiente manera:

➤ **Objetivo de maximización:**

- “Cuando no aparece valor negativo en Z, se tiene la condición de parada.
- Para conseguir la condición de entrada a la base, debe darse el caso de obtener el menor valor negativo en la fila Z o bien, el mayor valor absoluto entre los negativos, lo que evidencia la variable p_j que entra a la base.
- Mediante el menor cociente P_0/P_j de los positivos, se determina la variable, paso que sigue una vez se haya obtenido la variable entrante. Lo anterior cumple la condición de salida de la base” (PHP SIMPLEX, 2017) . (PHPpsimplex, 2017)

Es importante conocer el objetivo de maximización para desarrollar el modelo correctamente y obtener la respuesta adecuada.

➤ **Objetivo de minimización**

- “Cumplir la condición de parada, situación que acontece cuando no se tiene ningún valor positivo en la fila Z.
- La variable p_j que entra en la base, es indicada por el mayor valor positivo en la fila Z, lo que expresa el cumplimiento de la condición de entrada a la base.

- Condición de salida de la base: una vez obtenida la variable entrante, la variable que sale se determina mediante el menor cociente P_0/P_j de los estrictamente negativos.

Sin embargo, con el fin de aplicar siempre iguales criterios en lo referente a las condiciones de entrada y salida de las variables de la base y a la condición de parada del algoritmo, es una posibilidad, normalizar el objetivo del problema.

Así, si el objetivo es minimizar la solución, se puede cambiar el problema a otro equivalente de maximización, simplemente multiplicando la función objetivo por un -1 . Es decir, el problema de minimizar Z es equivalente al problema de maximizar $-1 * Z$. Una vez obtenida la solución será necesario multiplicarla también por -1 ". (PHPpsimplex, 2017)

Ya que se mantiene la condición de entrada y salida de la base, no hay que preocuparse por criterios nuevos de parada, lo que ofrece una ventaja a este método.

Si la función llegara a tener todos los coeficientes de sus variables básicas positivas, "si las restricciones sean del tipo de desigualdad \leq y además, al realizar el cambio los coeficientes resultan negativos y se cumple la condición de parada en la primera iteración, todos los valores son positivos o cero en la fila del valor de la función, pudiendo ser una desventaja al método. En el caso anterior, se obtendrá un valor óptimo igual a 0 para la función.

Realmente no existe problema en la solución, ya que para que la misma sea superior a 0 se requiere que alguna restricción tenga necesariamente la condición \geq , lo cual “se trataría de un modelo para el método de las Dos Fases. El método de las dos fases, se refiere a una variante del método simplex, donde se evita el uso de la constante M (variable artificial), definida como un número grande, aunque finito”. (PHPsimplex, 2017).

C. Ventajas y desventajas de utilizar el método simplex en la toma de decisiones

➤ **Ventajas del método simplex**

- “Es un método heurístico, es decir que el mismo está basado en consideraciones geométricas y no requiere el uso de derivadas de la función objetivo
- Ajusta un gran número de parámetros, por lo que resulta eficaz
- Es de fácil implementación y utilización, proveyendo una gran eficacia a la vez
- Se puede utilizar cuando la función objetivo es muy difícil, porque en sus reiteraciones, busca el mínimo con amplitud y evita que estos mismos sean locales

➤ **Desventajas del método simplex**

- Encuentra el resultado más lentamente que otros métodos, pues requiere mayor número de repeticiones. (Vélez; Montoya, 2007)

➤ **Propiedades de los problemas de programación lineal resueltos con el método simplex**

Para determinar si el modelo a utilizar se adapta a la situación a la que se desea dar solución, se debe conocer aquellas propiedades o características que lo posicionan como apto para ser resuelto por ese medio. Para aplicar el método simplex se debe considerar los siguiente:

- “El problema busca maximizar o minimizar alguna cantidad, por lo general, la utilidad o el costo.
- Existe presencia de limitaciones o restricciones que limitan el objetivo
- Tienen que existir cursos de acción alternativos a seguir
- Existen condiciones de certeza
- Se hace la suposición de divisibilidad
- Todas las respuestas de las variables son no negativas”. (Render; Raph; Hanna, 2012)

D. Interpretación del método simplex, solución óptima

Es una solución factible que da el valor más favorable de la función objetivo, se llama solución máxima o mínima, según sea el caso. Es decir, “aquella que maximiza la utilidad o minimiza los costos y que provee la combinación adecuada que logra estos resultados, y presenta escenarios para la toma de decisiones”. (RF Garay, 1996)

“Luego de resolver un problema de Programación Lineal con el Método Simplex, resulta de interés analizar el impacto en los resultados (solución óptima, valor óptimo, variables básicas óptimas, etc) ante variaciones en

la estimación preliminar de dichos parámetros” (Artículo sobre el método simplex y programación lineal, 2015), para comprender y ejecutar de manera correcta los resultados obtenidos durante el proceso.

La correcta interpretación de la solución óptima, a través de un buen desarrollo del modelo, permite crear políticas de utilización, horarios, funcionamiento, basado en cálculos matemáticos que respaldan las decisiones de manera efectiva, ya que la programación lineal, es “ una técnica de modelado matemático, ampliamente utilizada, que está diseñada para ayudar a los gerentes en la planeación y toma de decisiones respecto a la asignación de recursos”. (Render; Raph; Hanna, 2012)

E. Utilización de la herramienta Solver de Excel

Solver es una herramienta complemento de Microsoft Excel, utilizada para realizar análisis, incluyendo programación lineal. “Solver utiliza un grupo de celdas llamadas variables de decisión, que sirven para calcular fórmulas en las celdas objetivo, ajustando los valores de las celdas de variables de decisión para que cumplan con los límites de las celdas de restricción y dé el resultado deseado de cada objetivo”. (Office Support, 2017)

Siendo solver una herramienta complemento de Excel, es necesario conocer su utilización para aplicar el método de una manera práctica, razón por la que debe prepararse la hoja de cálculo con toda información requerida para hacer uso de la misma.

Los cuatro pasos básicos necesarios para utilizar la herramienta son los siguientes:

Primero, “introducir los datos del problema, que consisten en los coeficientes de la función objetivo y las restricciones, además de los valores del lado derecho para cada una de las restricciones, organizando de manera lógica y significativa.

Segundo, designar las celdas específicas de los valores de las variables de decisión.

Tercero, escribir una fórmula para calcular el valor de la función objetivo, utilizando los coeficientes de la función objetivo, que se hayan introducido y las celdas que contienen los valores de las variables de decisión.

Cuarto, escribir una formula para calcular el valor del lado izquierdo de cada restricción, utilizando los coeficientes de las restricciones y las celdas que contienen los valores de las variables de decisión”. (Render; Raph; Hanna, 2012)

CAPÍTULO II

DIAGNÓSTICO DE LA UTILIZACIÓN DE RECURSOS DE UN CENTRO DE FERTILIDAD Y REPRODUCCIÓN HUMANA

A continuación se desarrolla la situación actual de la organización, con el objetivo de visualizar el panorama actual y comprender el contexto en el que se desarrolló la investigación.

2.1 Metodología de la investigación

Como se indicó en el plan de investigación, los siguientes apartados describen los métodos generales de investigación.

Durante el desarrollo del presente trabajo, se recabó la información y comprobó la hipótesis, utilizando el método científico en sus tres fases: la fase indagatoria a la unidad de análisis para recolectar la cantidad suficiente de información, seguido de la fase demostrativa para verificar lo recabado y comprobar la hipótesis planteada y, por último, la fase expositiva que se mostrará en la presentación final del trabajo.

Asimismo, se utilizó el método deductivo-inductivo de la siguiente forma: se realizó un análisis para la elaboración del marco teórico, así como un estudio de los antecedentes de la unidad de análisis, seguido de una deducción del razonamiento general hacia uno particular, terminando con la síntesis que integra el análisis.

La observación directa y en tiempo real de los procedimientos para la elaboración de los flujogramas de proceso, así como la investigación bibliográfica y el censo fueron las técnicas utilizadas para llevar a cabo los métodos del presente estudio.

En cumplimiento de las técnicas, se utilizaron los siguientes instrumentos: 1) entrevista no estructura a los miembros de la organización, técnicos y personal administrativo, 2) entrevista estructura a directores médicos y de laboratorio para conocer los tiempos de realización de los procesos, 3) sesiones de grupo no estructuradas con el cuerpo médico para determinar la intervención de los diferentes departamentos de la organización en los procesos, 4) fichas bibliográficas para la búsqueda de la información pertinente a la investigación 5) cuestionarios y 6) guías de observación que fueron de apoyo para orientar la búsqueda de información.

Todo lo anterior, se utilizó con la finalidad de obtener información relevante sobre la situación actual de la empresa que ayudará a plantear la problemática y escenarios posibles de solución. A continuación, se presenta el detalle de las etapas de obtención de información llevadas a cabo en la presente investigación.

2.1.1 Determinación de los servicios con mayor incidencia en beneficios

Por medio de entrevistas al director de cada laboratorio y director médico para clasificar por orden de importancia los procedimientos que realiza cada uno de los laboratorios del centro y, entender de una mejor manera la interrelación que existe entre las unidades de andrología y embriología, se realizó una entrevista a cada uno de los directivos, con la finalidad de conocer cuáles son aquellos procesos que se realizan en el centro, del universo de procedimientos andrológicos y embriológicos. Asimismo se realizaron entrevistas no estructuradas a los co-directores médicos para determinar aquellos que responden a las técnicas médicas más aplicadas y que sin su realización, un tratamiento de fertilidad no podría ser llevado a cabo, para iniciar con la determinación de las restricciones.

2.1.2 Recolección de la información

Para recabar la información necesaria, se recurrió a los siguientes instrumentos, los cuales se desarrollan con más profundidad en el siguiente apartado:

Observación directa de los diferentes procedimientos en vivo, para construir y revisar la ficha técnica de cada uno de los procedimientos y, realizar una toma de tiempos de cada paso del proceso. De esta manera, se conoció de primera mano, la funcionalidad de cada uno de los procesos y la secuencia de pasos que conforman su elaboración.

También se realizaron entrevistas al personal técnico, administrativo y gerencial del centro para determinar tiempo de utilización de los departamentos complementarios y costos de materia prima, insumos y equipo.

Se llevó a cabo una investigación bibliográfica en páginas web de los laboratorios en Guatemala y Europa, apuntes de centros de fertilidad y libros de texto del área de métodos cuantitativos, con la finalidad de obtener información valiosa para desarrollar el tema objeto de estudio.

Adicionalmente se procedió con sesiones de grupo a las autoridades del centro para revisión de flujogramas de actividades y la ficha técnica de los procedimientos, con la finalidad de obtener información concisa y apegada a la realidad.

2.1.2.5 Limitantes de la presente investigación

Durante el desarrollo de la investigación, no se encontró limitantes en cuanto a la información proporcionada por la empresa objeto de investigación.

2.1.3 Organización de la información

2.1.3.1 Codificación

De la información obtenida a través de los diferentes instrumentos utilizados, con la finalidad de disponer de la información recabada para el análisis.

2.1.3.2 Depuración

Al finalizar la codificación y con la ayuda de las observaciones obtenidas en las sesiones de grupo, se depuró la información para priorizar lo más relevante.

2.1.4 Clasificación y presentación de la información

Una vez depurada la información, se clasificó para su presentación como sigue:

2.1.4.1 Elaboración de flujogramas de procedimientos

Para expresar gráficamente las operaciones que intervienen en los procedimientos a desarrollar.

2.1.4.2 Hojas técnicas de servicios

Para resumir los elementos (materia prima, equipo, mano de obra y costos indirectos de fabricación), que intervienen en los procedimientos para su análisis y costeo.

2.1.4.3 Costeo de servicios

Una vez elaborada la ficha técnica de los servicios, se procedió a determinar el costo de los principales servicios, tomando en cuenta las especificaciones técnicas indicadas en las entrevistas y los proveedores utilizados para el fin.

2.1.4.4 Determinación de la utilidad por servicio

Para establecer el margen de ganancia real de los servicios y ubicar aquellos que representan el mayor beneficio para la organización, se realizó el costeo estándar para cada unidad en sus tres servicios o procesos principales, tomando como base la producción estimada anual y los costos más actualizados de la materia prima. Para ello se realizó el flujograma de uno, el presupuesto monetario de la unidad y la hoja técnica del costeo estándar para cada uno de los servicios y los procedimientos que se estudiaron, seguido de una observación directa para cada uno de ellos, donde se cotejaba la información recabada, los tiempos de realización y la materia prima utilizada para el fin.

2.1.4.5 Disponibilidad de departamentos complementarios: el modelo matemático aplicado en el presente trabajo, no permite la inclusión de restricciones administrativas.

2.2 Unidad de análisis

Para profundizar en el contexto sobre cual se trabajó el presente informe, se describe el marco general de la organización.

2.2.1 Generalidades

La empresa objeto de estudio es un centro de fertilidad y reproducción humana, ubicado en la zona 10 de la ciudad capital, “dedicado al tratamiento del hombre y la mujer infértil de una forma personalizada y especializada a través de su laboratorio”. (Gestar, centro de fertilidad, 2017)

Para estos tratamientos se requiere equipo tecnológico específico, lo que significa una inversión considerable, además de requerir personal calificado y entrenado especialmente para este fin. El diseño del laboratorio fue realizado tomando como referencia, la estructura de los laboratorios europeos, aunado a los servicios de urología, ginecología, nutrición, obstetricia y otros, que se manejan en el centro, condiciones a tomar en cuenta al analizar la capacidad operativa del centro.

2.2.2 Antecedentes

La empresa fue creada y constituida legalmente en octubre del año 2004, como una clínica de ginecología e infertilidad en la zona 7 de la capital, realizando únicamente tratamientos de baja complejidad dentro de sus instalaciones. Posteriormente, se trasladó a su ubicación actual, ya realizando tratamientos de alta complejidad y con una posición considerable en el mercado, siendo uno de los laboratorios más innovadores del país con su unidad de embriología y andrología, ofreciendo servicios a clientes locales y extranjeros, además creó alianzas estratégicas con médicos especializados en infertilidad, que prestan sus servicios en diferentes lugares de Guatemala, y que realizan los procedimientos en las instalaciones de la organización. Se labora en un horario de 7:00 a 18:00 horas de lunes a viernes y sábado de 7:00 a 13:00 horas, domingos y días festivos de acuerdo a la calendarización de procedimientos. Los equipos de

laboratorio tienen la capacidad de funcionar las 24 horas del día, los 365 días del año, a excepción del tiempo de mantenimiento que se realiza una vez al año.

Actualmente se realizan más de 100 tratamientos de alta complejidad y cerca de 600 estudios diferentes durante el año, además de otros servicios que prestan. Se han incluido técnicas avanzadas que mejoran la calidad de los tratamientos e incrementan las probabilidades de resultados positivos, en el primer intento. Se han incluido programas de preservación de fertilidad y estudios genéticos para mejorar la calidad de vida de los embriones.

El departamento de Laboratorio tiene dos unidades consideradas vitales para el centro: andrología y embriología y ambas están relacionadas, andrología, a través de un diagnóstico adecuado y preparación de muestras de semen, son la base para un tratamiento exitoso en la unidad de embriología, además de marcar el camino a seguir en el tratamiento de la pareja. Es sobre este departamento que se basa el presente estudio y donde se encontró la problemática a la cual se dará solución en el siguiente capítulo.

2.2.3 Filosofía empresarial

Como toda organización, la empresa se rige por principios y valores, los cuales se enumeran a continuación:

2.2.3.1 Misión: “ayudar a que las personas logren ser madres y padres un ambiente de honestidad, respeto y comprensión.

2.2.3.2 Visión: ser el centro de fertilidad más grande de Guatemala y Centroamérica con resultados confiables y exitosos.

2.2.3.3 Valores: el trabajo se realiza bajo los siguientes principios:

- **Honestidad:** al presentar las opciones viables y confiables.
- **Puntualidad:** en la atención de nuestros pacientes, para garantizar un tratamiento adecuado y con las técnicas aplicadas de la mejor manera.
- **Respeto:** a la persona, la comunidad y nuestro planeta”. (Gestar, centro de fertilidad, 2017)

2.2.4 Estructura organizacional

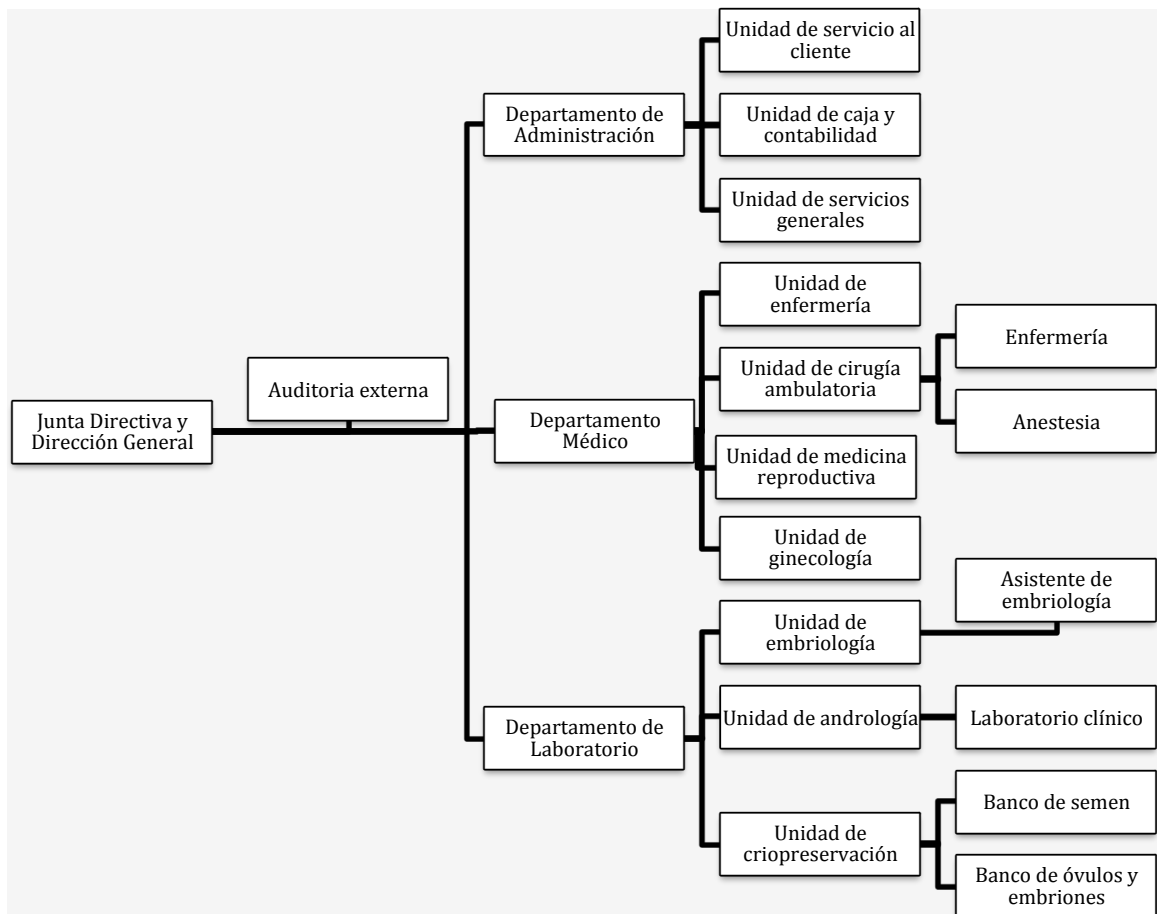
En la gráfica 1 se presenta el organigrama general de la empresa, así como las líneas de mando, siendo en este caso vertical para una buena gestión empresarial y el correcto funcionamiento de la empresa.

La empresa está cimentada sobre tres departamentos que son: Departamento médico, Departamento de laboratorio y Departamento de administración, regidos por la Dirección General. En el laboratorio, se realizan los tratamientos de fertilidad del centro, razón por la cual, se requiere concentrar la atención en esta área que define el éxito a largo plazo de la empresa. Los niveles jerárquicos son tres, la Gerencia General que conforma el nivel estratégico superior, el nivel táctico donde se encuentra la administración y direcciones médicas y de laboratorio y por último, el nivel operativo donde se observa la caja, servicio al cliente, laboratorio clínico, enfermería, cirugía y otros. El diseño organizacional observado es funcional, con comunicación directa desde la Gerencia General hacia los siguientes niveles de la organización, con una estructura organizacional definida en sus tres niveles.

El modelo de diseño de organización es mecánico, con dimensiones acentuadas y una clara división del trabajo y departamentos, las decisiones son

centralizadas. Por último se puede observar un sistema organizacional lineal, que evita la duplicidad de funciones.

Gráfico 1
Organigrama general de la empresa Gestar, Centro de Fertilidad



Fuente: Elaboración propia con información del trabajo de campo. Año 2017.

A. Descripción de los departamentos y unidades de la organización: la empresa se encuentra organizada de la siguiente manera:

- **Departamento de Administración:** se encarga de la planificación, organización, dirección, control y optimización de los recursos físicos,

financieros, tecnológicos y humanos, así como de la gestión sanitaria y adecuación de los procesos a las diferentes necesidades de servicio de los clientes. Además, gestiona la infraestructura, limpieza, mantenimiento, apoyo y proveeduría a los demás departamentos.

- **Departamento médico:** organiza, controla y dirige todos los procesos médicos que se realizan en el centro, incluyendo la implementación de técnicas y equipo para el buen funcionamiento del área médica y mejora de resultados clínicos, trabajando sobre las siguientes áreas:
 - Ginecología: se encarga del manejo clínico de la mujer.
 - Obstetricia: da seguimiento a la concepción y control prenatal.
 - Pruebas clínicas: elabora pruebas clínicas a la mujer (citologías y diferentes test).
 - Hospital de día: realiza procedimientos ginecológicos menores que no requieren hospitalización, así como encamamiento y otros procesos ambulatorios.
 - Endocrinología: maneja la parte endocrinológica del área de ginecología.

- **Departamento de laboratorio:** planifica, dirige y controla los estudios, procesos y tratamientos que se realizan en el centro en conjunto con las demás unidades de la organización. Se encarga de planificar la compra de insumos para su área y de gestionar las muestras de semen, banco de óvulos y espermatozoides que se preservan en el criobanco a través de las unidades especializadas de gestión como son las siguientes:

- **“Unidad de andrología:** en esta unidad se realizan los estudios de diagnóstico y los procedimientos de baja complejidad, en especial la preparación de semen (SWIM UP), inseminaciones artificiales y recuperación de espermatozoides móviles.
- **Unidad de embriología:** realiza los tratamientos de alta complejidad como lo son la Fecundación In Vitro, ya sea convencional, con inyección de espermatozoides o con donación de óvulos; asimismo prepara los embriones sobrantes de los tratamientos, vitrificándolos para ser almacenados en el criobanco.
- **Criobanco:** gestiona el mantenimiento de embriones y gametos criopreservados bajo estrictos controles de calidad, que permiten una desvitrificación exitosa hasta en un 99%, para ser utilizados en tratamientos posteriores de fertilidad”. (Gestar, centro de fertilidad, 2017)

2.2.5 Servicios

El centro se dedica principalmente al tratamiento del varón y la mujer infértil y además, complementa sus servicios con las siguientes actividades, tanto de los médicos del centro, como de otros especialistas asociados al centro.

- Ginecología
- Obstetricia
- Urología
- Nutrición
- Laboratorio clínico

- Cirugías ambulatorias
- Encamamiento
- Ultrasonidos de 4D y 5D
- Ecografías

2.3 Situación actual de la utilización de recursos en un laboratorio especializado

El laboratorio especializado es el principal eje de trabajo del centro y es la base de la presente investigación. Para una mejor comprensión del ámbito del estudio, se describe la operación que se realiza en sus principales unidades de acción, andrología que es el laboratorio que trabaja los tratamientos de baja complejidad y embriología, que se encarga de realizar los tratamientos de alta complejidad.

2.3.1 Tratamientos:

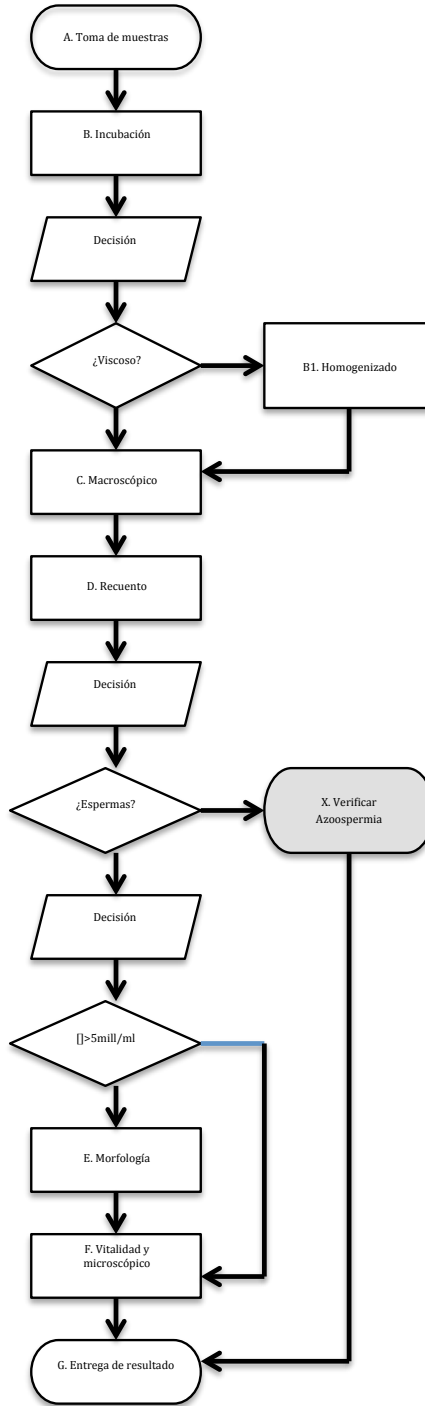
El laboratorio realiza una diversidad de estudios y tratamientos, dentro de los cuales se encuentran:

- A. Unidad de andrología:** “realiza estudios de diagnóstico como espermogramas, recuperación de espermatozoides móviles (REM), técnica de separación magnética de espermatozoides llamada MACS y procedimientos de baja complejidad como congelación de espermatozoides a través del banco de semen, gestión del programa de donación de semen, inseminación artificial homóloga (IAH), inseminación artificial con semen de donante (IAD), preparación de muestras para Fecundación In Vitro (SWIM UP)”. (Gestar, centro de fertilidad, 2017)

Para el presente estudio, se trabajará con los tres procesos clave de esta unidad que son, análisis de semen (espermograma), preparación de muestras para inseminación o Fecundación In Vitro (SWIN UP) y congelación de semen a través de píldoras. A continuación se muestra paso a paso, la realización de cada uno de ellos.

Flujograma 1

Pasos para realizar análisis de muestra de semen



Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017

Tabla 1
Tiempo requerido por actividad en la realización
de análisis de muestra de semen en laboratorio de andrología

Paso*	T. mín. (min)	T. máx. (min)	T. prom. (min)	Prob**
A	5	45	10	100%
B	5	60	20	100%
B1	1	1	1	50%
C	2	2	2	100%
D	1	3	1.5	100%
E	1	10	3	85%
F	2	3	2	100%
F	2	5	3	95%
G	?	?	?	?
X	18	30	22.5	10%

* Los tiempos de las filas marcadas con gris son desconocidos para el laboratorio. Estas etapas se realizan en otras áreas.

** Cantidad aproximada de muestras que requieren este paso.

*** Los pasos corresponden a los enunciados en el flujograma no. 1

Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

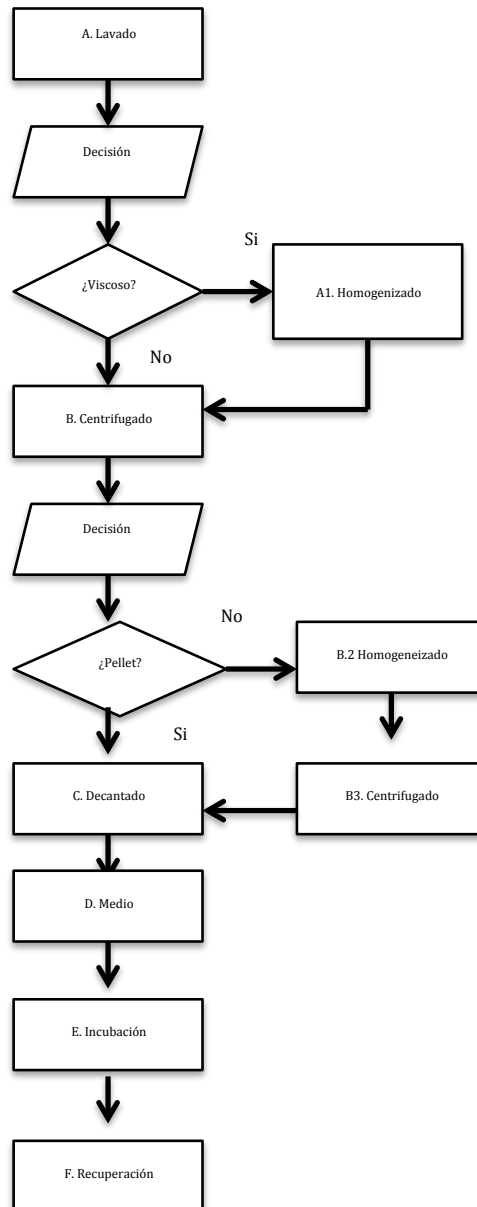
Cuadro 1
Equipo y materia prima utilizada en análisis
de una muestra de semen

Cantidad	Suministro o equipo
1 unidad	Frasco de plástico con tapadera roja
1 unidad	1 Etiqueta
1 unidad	1 jeringa de 3ml o 10ml
1 unidad	Tira de papel Ph
3 unidades	Puntas p 100
2 unidades	Portaobjetos
2 unidades	Cubreobjetos
0.02 ml	Colorante VitaStain
1 unidad	Tubo eppendorf de 1.5 ml
1 unidad	Kleenex o Kimwipe
1 ml	Metanol
1 ml	Eosina
1 ml	Azul de metileno
1 par	Guantes de nitrilo
1 unidad	Pipeta eppendorf 2-20 μ l
1 unidad	Pipeta Thermo 10-100 μ
1 unidad	Incubadora Premiere
1 unidad	Cámara Maklher
1 unidad	Microscopio de contraste de fases
3 unidades	Vasos coping
1 unidad	Papel tamaño carta
1 unidad	Equipo de cómputo

Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

Flujograma 2

Pasos para preparación de muestras de semen (SWIN UP) para inseminación artificial o Fecundación In Vitro en el laboratorio de andrología



Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

Tabla 2
Tiempo requeridos en las actividades para
preparación de muestras de semen en el laboratorio de andrología

Paso*	T. mín. (min)	T. máx. (min)	T. prom. (min)	Prob**
A	1	2	1	100%
A1	1	2	1	20%
B	5	8	6	100%
B2	1	2	1	30%
B3	5	8	6	30%
C	1	1	1	100%
D	1	2	1	100%
E	45	50	46	100%
F	1	1	1	100%

* Los pasos que se subdividen son adicionales en las muestras que lo requieren

** Probable cantidad de muestras que requieren este paso

*** Los pasos corresponden a los enunciados en el flujograma no. 3

Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

Cuadro 2

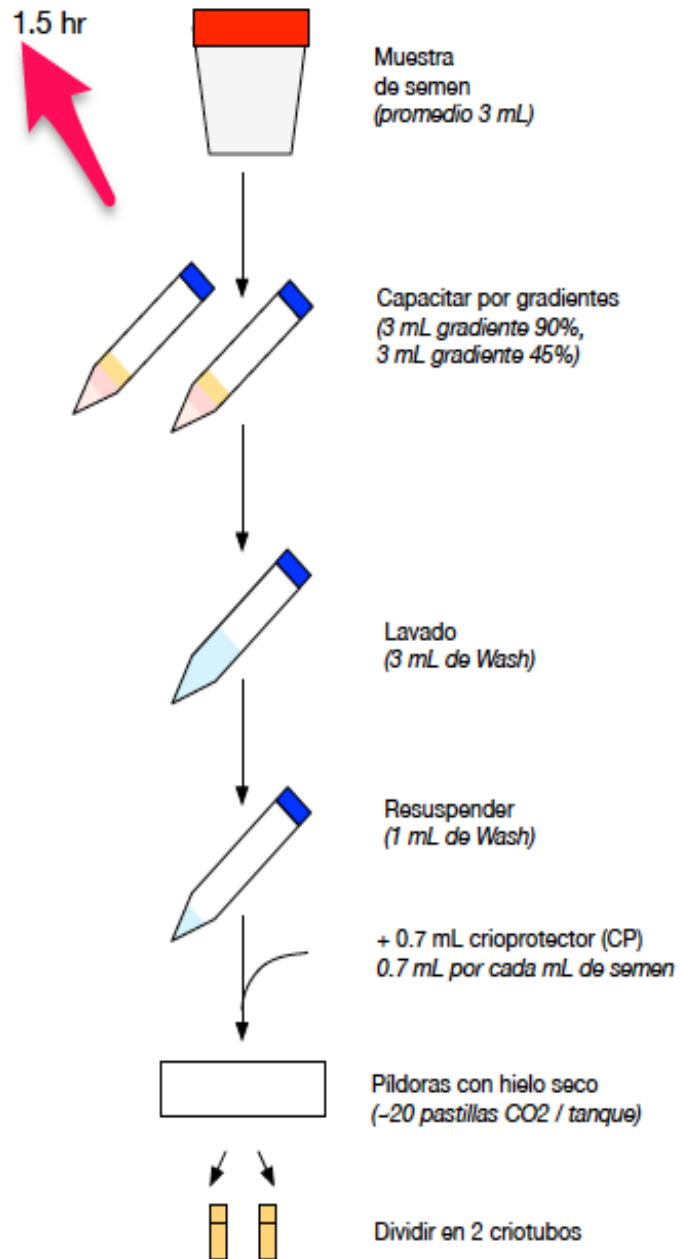
Equipo y materia prima utilizada en la preparación de muestras de semen

Cantidad	Suministro o equipo
1 unidad	Frasco de plástico con tapadera roja
1 unidad	Etiqueta
1 unidad	Jeringa de 3.5 ml o 10 ml
1 unidad	Suministros para espermograma
1 unidad	Suministros del Swin Up
1 unidad	Cánula de inseminación Cath o Select IUI
1 par	Guantes de nitrilo
1 unidad	Incubadora Premiere
1 unidad	Cámara Makhler
1 unidad	Microscopio de contraste de fases
1 unidad	Centrífuga
1 unidad	Papel blanco tamaño carta
1 unidad	Equipo de cómputo

Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

Flujograma 3

Pasos para congelación de semen por medio de píldoras



Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

Tabla 3
Tiempo requeridos en las actividades para
congelar muestras de semen por píldoras

Paso*	T. mín. (min)	T. máx. (min)	T. prom. (min)	Prob**
A	30	90	45	100%
B	3	5	4	100%
C	15	20	15	100%
D	1	2	2	100%
E	5	15	10	100%
F	1	4	2	100%
G	2	5	3	100%
H	15	30	20	100%
I	1	3	1	100%

*Los pasos corresponden a las etapas enunciadas en el flujograma 3

Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

Cuadro 3

Equipo utilizado para congelar muestras de semen

Cantidad	Equipo / material
3 unidades	Pipetas Eppendorf
3 unidades	Pipetas Thermo
1 unidad	Incubadora Premiere
1 unidad	Cámara Makhler
1 unidad	Microscopio de contraste de fases
1 unidad	Centrífuga
1 unidad	Pipeteador automático
10 ml	Metanol
1 unidad	Molde de madera con paletas
1 unidad	Molde de yeso
1 unidad	Molde de arcilla con pelotas de metal
1 unidad	Hielera de 1.0 litros
1 unidad	Tanque de nitrógeno líquido
1 unidad	Cánister
1 unidad	Rejilla
1 unidad	Embudo de plástico pequeño
1 unidad	Embudo de plástico grande
1 unidad	Pinzas metálicas finas

Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

Cuadro 4
Materia prima utilizada para congelar
muestras de semen por medio de píldoras

Cantidad	Suministro
1 unidad	Suministros de espermograma
1 unidad	Suministros de preparación de muestra
0.350 ml	Crioprotector
1 unidad	Punta p 1000
2 unidades	Punta p 100
1 unidad	Molde de madera con paletas
1 unidad	Molde de yeso
1 unidad	Molde de arcilla con pelotas de metal
1 unidad	Hielera de 1.0 litros
0.5 lbs	Co2 gaseoso
1 litro	Nitrógeno líquido
1 unidad	Criotubo de 2.0 ml
1 unidad	Embudo de plástico pequeño
1 unidad	Embudo de plástico grande
1 unidad	Pinzas metálicas finas
1 unidad	Tubo con fondo redondo de 3.0 ml
1 unidad	Tanque de nitrógeno líquido
1 unidad	Canister
1 unidad	Rejilla con banderita metálica
1 unidad	Marcador para criotubo
1 unidad	Gorro quirúrgico
1 unidad	Kleenex o Kimwipe
1 unidad	Equipo de cómputo

Fuente: información unidad de Andrología. Año 2017.

Al definir y analizar los pasos necesarios para realizar cada procedimiento, se aprecia la relación que existe entre los tres servicios, dado que ciertas actividades se llevan a cabo en todos ellos, tal como se muestra a continuación, lo cual permite conocer los cuellos de botella en las actividades y uso de equipo.

Cuadro 5
Interrelación de actividades de servicios de andrología
(tiempos en minutos)

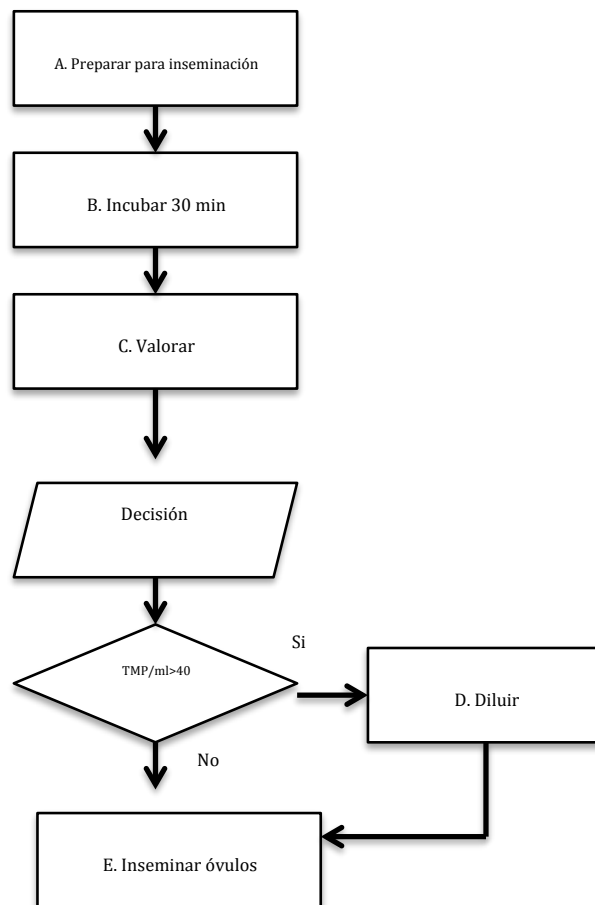
Proceso 1 Análisis de muestra		Proceso 2 Preparación de muestra		Proceso 3 Congelación	
Actividad	Min.	Actividad	Min.	Actividad	Min.
Toma de muestras	15	Toma de muestras	15	Toma de muestras	15
Incubación / licuefacción	13	Incubación / licuefacción	68	Incubación / licuefacción	78
Análisis microscópios (Andro)	38	Análisis microscópios (Andro)	50	Análisis microscópios (Andro)	65
Total	66	Total	133	Total	158

Fuente: elaboración propia con información del trabajo de campo. Año 2017.

B. Unidad de embriología: realiza los tratamientos de alta complejidad como lo son la Fecundación In Vitro convencional (FIV), Fecundación In Vitro con inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI), Fecundación In Vitro con banco de óvulos (FIV OD), vitrificación de óvulos (programa de preservación de fertilidad), vitrificación de embriones, gestión del programa de donación de óvulos, diagnóstico genético preimplantatorio (PGS), acumulación de óvulos para posterior tratamiento de Fecundación In Vitro, transferencia de embriones desvitrificados y Hatching asistido.

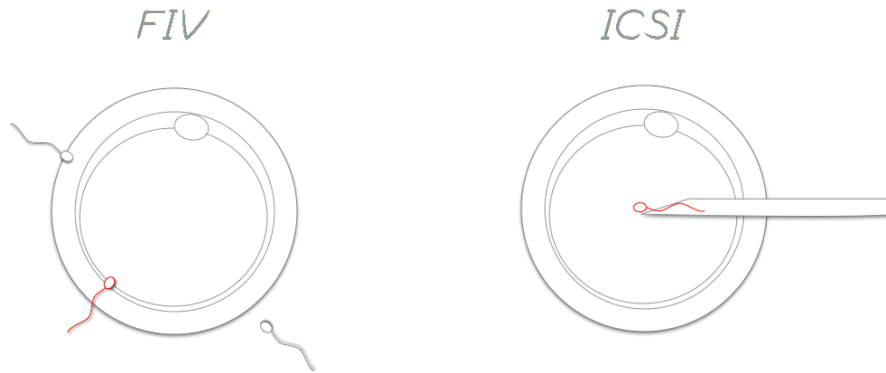
Los estudios y tratamientos usuales de esta unidad son la Fecundación In Vitro convencional (FIV), la Fecundación In Vitro con inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI) y la acumulación de óvulos, los cuales se ilustrará a continuación para una mayor comprensión de los mismos.

Flujograma 4 Pasos de la Fecundación In Vitro e ICSI



Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017.

Imagen 1
Ilustración diferencia FIV - ICSI



Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017

Cuadro 6
Equipo utilizado en la realización de Fecundación In Vitro
Convencional y Fecundación In Vitro con inyección
intracitoplasmática de espermatozoides

1 unidad	Suministros de preparación de muestra
1 ml	Sperm Wash
1 unidad	Punta p 1000
1 unidad	Pipeta Thermo p 100-1000 μ L
1 unidad	Tubo Eppendorf 15 ml
1 unidad	Incubadora
1 unidad	Kleenex o Kimwipe
1 unidad	Guantes de nitrilo

Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017.

Tabla 4
Tiempos requeridos en actividades de realización de Fecundación In Vitro y Fecundación In Vitro con inyección de espermatozoides

Paso*	T. mín. (min)	T. máx. (min)	T. prom. (min)	Prob**
A	30	90	45	100%
B	30	60	30	100%
C	1	2	1	100%
D	1	5	1	30%
E	5	10	8	100%

* Los pasos que se subdividen son adicionales en las muestras que lo requieren

** Probable cantidad de muestras que requieren este paso

*** Los pasos corresponden a los enunciados en el flujograma no. 4

Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017.

Cuadro 7
Materia prima utilizada en la realización de una Fecundación In vitro

Punción/Recuperación/Aspiración folicular		
	Materiales	reactivos
1. tubo de lavado.	1- tubo falcon fondo redondo de 15 ml	10 mL de HTF con 10% de albumina 2 ampollas de albúmina (Para 250mL HTF)
2. Placas de lavado	2-placas falcon de 60mL	6 mL HTF mas albúmina (por placa) 3 mL aceite lifeguard oil (por placa)
2. placas de recuperación.	2-placas Nunc 35 mm	0.5 mL life global total HSA (por cada placa) 3.5 mL aceite lifeguard oil (por placa)
Cantidad	Materiales	
1	Tubos Falcon fondo redondo de 10-15 mL	
5 a 6	placas petri de 100 ml	
1	Frasco esteril tapadera roja	
2	jeringas de 1 mL	
1	par de guantes estériles sin talco	
3	pipetas pasteur de borosilicato	
1	aguja de punción	
FIV convencional		
	Materiales	Reactivos
Placas de cultivo	3. Placas Nunc de 35 mm	0.5 mL life global total HSA (por placa)
		3.5 ml de aceite mineral (por placa)
	2 pipetas pasteur de borosilicato	semen capacitado (IAH sin canula)

Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017.

Cuadro 8

Materia prima utilizada en una microinyección de espermatozoides

ICSI		
	Materiales	Reactivos
Placa de ICSI	1 placa falcon 60 mm por cada 6 ovulos	9ml de aceite mineral
		0.5 ml Global HEPES
		1 Frasco de PVP
	1 Aguja de ICSI	
	1 Aguja Holding	
	1 Pipeta pasteur de borosilicato	

Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017.

Cuadro 9

Materia prima utilizada en la realización de una transferencia de embriones

Transferencia de embriones	
Materiales	Reactivos
1 Cateter	
1 Estilete (1/20)	
2 Placas Nunc 35 mm	2mL de Life Global Total HSA (por cada placa)
	1.5 ml de aceite mineral(por cada placa)
1 pipeta pasteur de borosilicato	
1 par de guantes esteriles sin talco	
1 Tubo fondo redondo de 5 ml	
1 Papel para fotos	

Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017.

Cuadro 10

Materia prima utilizada en una decumulación de óvulos para acumulación

Decumulación (ICSI /Vitrificación)		
	Materiales	Reactivos (por placa)
3 Placas de Decumulación.	3 placas nunc de 35 mm	0.5 mL Hialuronidasa
	1 pipeta pasteur de borsilicato	0.5 mL Life Global HEPES
	1 pipate striper 135 mm	3.5mL de aceite mineral
Inyección de espermatozoides		
	Materiales	Reactivos
Placa de ICSI	placa falcon 60 mm por cada 6 ovulo	9ml de aceite mineral
		0.5 ml Global HEPES
		1 Frasco de PVP
	1 Aguja de ICSI	
	1 Aguja Holding	
	1 Pipeta pasteur de borosilicato	

Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017.

Cuadro 11
Materia prima utilizada en vitrificación de óvulos para acumulación

Vitrificación óvulos/ embriones	
Materiales	Reactivos
1 cryotop por cada 1-4 óvulos	1 KIT de cryotech
1 pipeta pasteur de borosilicato	1 Litro de Nitrógeno Líquido
1 Canister (maximo 4 cryotop)	

Fuente: información unidad de Embriología. Año 2017.

2.3.2 Equipo

Para realizar los diferentes tratamientos y análisis de laboratorio, se cuenta con el equipo mínimo siguiente:

- Campana de flujo laminar
- Termobloques
- Incubadora K-system
- Aspirador de óvulos
- Filtro de aire
- Laser
- Gradillas reesterilizables
- Microscopio invertido
- Manejadores
- Filtro de aire

2.3.3 Personal

Para llevar a cabo las diferentes actividades, se dispone del siguiente personal en el centro.

- **Personal médico:** se cuenta con dos ginecólogos y obstetras especializados en Infertilidad y reproducción humana, así como endocrinología ginecológica, un urólogo y andrólogo, dos anestesiólogos, dos enfermeras, un ginecólogo especializado en ecografía, una nutricionista y otros médicos ginecólogos asociados al centro.
- **Personal de laboratorio:** para el laboratorio se cuenta con dos embriólogos y andrólogos, un químico biólogo y técnico de laboratorio.
- **Personal administrativo:** el personal administrativo que forma parte del centro son: un administrador, un cajero y auxiliar de contabilidad, dos secretarias, dos personas de conserjería, una persona de mantenimiento.

2.3.4 Capacidad operativa

Es necesario conocer la capacidad del centro así como los diversos factores que inciden en las operaciones que realizan.

- **Recursos:** se cuenta con los siguientes:
- **Instalaciones:** dentro de las oficinas ubicadas en un edificio dedicado exclusivamente a la medicina, se cuenta con dos laboratorios, uno para andrología y análisis de laboratorio clínico, y otro para embriología en ambientes separados y libres de contaminación. También se ubican cuatro habitaciones para encamamiento, dos quirófanos, uno de los cuáles es utilizado exclusivamente para aspiraciones foliculares y transferencias embrionarias, un área de toma de muestras de laboratorio, un área de toma de muestras de semen, área administrativa que incluye caja, secretaria y documentación, cinco clínicas, una sala de reuniones, un comedor y una oficina para el director de laboratorio.
- **Proveedores especializados en materiales de estudio biológico y químico:** se utilizan proveedores locales y extranjeros, dada la complejidad de los tratamientos que se realizan, donde es necesario

importar ciertos insumos y tener un control estricto del tiempo de vida de la materia prima.

- **Logística de atención a clientes extranjeros:** se cuenta con programas para clientes de Belice, El Salvador, Honduras, Nicaragua y Costa Rica especialmente y un programa externo de pacientes de Estados Unidos y Canadá.
- **Unidades de servicio:** la empresa cuenta con varias unidades compartidas, que intervienen en los diversos tratamientos que se ofrecen, estas son: servicio al cliente, caja, enfermería y administración.
- **Disponibilidad de los recursos:** Debido a que el centro ofrece servicios adicionales a los tratamientos de fertilidad, existen ciertos departamentos que intervienen en los tratamientos pero que su disponibilidad es limitada para los laboratorios.
- **Intervención de las unidades en los procedimientos:** las unidades que intervienen en los procedimientos son caja, servicio al cliente, cirugía, enfermería, y administración, los cuales también están involucrados en las diferentes actividades que se realizan.
- **Capacidad instalada con la que se cuenta:** a continuación se presenta la disponibilidad asignada en promedio de los diferentes departamentos a cada uno de los servicios a analizar. En la tabla 5 y 6, se muestra la capacidad instalada y el tiempo disponible que tiene el laboratorio.

Cuadro 12

Disponibilidad anual de tiempo de trabajo por cada unidad que conforma el departamento de laboratorio en procesos de baja complejidad (Disponibilidad por año)

Unidad	Disponibilidad anual en minutos
Toma de muestras	69,120
Incubación	69,120
Andrología	69,120
Preparación del informe	3,000

Fuente: elaboración propia con información del trabajo de campo. Año 2017.

Cuadro 13

Disponibilidad anual de tiempo de trabajo por cada unidad que conforma el departamento de laboratorio en procesos de alta complejidad

Unidad	Disponibilidad anual en minutos
Quirófano	9,000
Encamamiento	50,000
Embriología	756,000

Fuente: elaboración propia con información del trabajo de campo. Año 2017.

2.3.4.1 Costeo de servicios: se realizó el costeo de los servicios, con la finalidad de obtener el ingreso que cada servicio genera en la organización. En la siguiente tabla se muestra el ingreso al laboratorio que se obtiene en cada uno de los servicios que presta, que son objeto de estudio en el presente trabajo.

Cuadro 14
Ingreso monetario al centro y laboratorio por proceso
(cifras expresadas en quetzales)

Servicio	Precio al público/ ingreso al Centro	Ingreso a laboratorio
Análisis de muestra	300.00	187.50
Preparación de muestra	3,300.00	1,205.36
Congelación de semen	1,500.00	1,200.00
Fecundación In Vitro	35,000.00	15,277.50
Fecundación In Vitro/ ICSI	37,000.00	17,407.50
Acumulación de óvulos	9,750.00	7,500.00

Fuente: Departamento administrativo. Año 2017.

- **Costeo y determinación de la utilidad de servicios de la unidad de andrología:** A continuación se presenta el costeo estándar y determinación de utilidad para cada servicio, en los tres elementos del costo : materia prima, mano de obra y costos indirectos de fabricación.

Cuadro 15

Hoja técnica de costo estándar para análisis de muestras de semen (Cifras expresadas en quetzales)

Elemento: materia prima			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo Total
1.2	Jeringa de 3cc, 5cc o 10cc	0.71	0.86
1.2	tira de papel PH	3.35	4.02
2.4	Puntas de 20ul	0.67	1.61
1.2	Vaso plástico con etiqueta	3.39	4.07
1.2	1 Hoja impresa más 1 sobre	1.25	1.50
2.4	Portaobjetos	0.02	0.05
2.4	Cubreobjetos	0.03	0.07
1.2	ml de colorante VitaStain	0.87	1.04
1.2	Tubo Eppendorf de 15ml	0.44	0.53
1.2	MI de Etanol	0.33	0.39
1.2	MI de eosina	0.87	1.04
1.2	ml de Azul de metileno	0.87	1.04
1.2	Par de guantes de nitrilo	6.00	7.20
1.2	Kimwipe	0.18	0.21
Total			23.64
Elemento: mano de obra			
Paso 1: toma de muestra y licuefacción			
Requerimiento	Disponibilidad / costo mensual	Requerimiento por unidad	
Horas Hombre	176.00	HH/36	4.89 HH
Costo HHH	1869.12		10.62
Costo paso 1			51.92
Paso 2: análisis			
Cantidad	176.00	HH/36	4.89 HH
Precio	911.76		5.18
Costo paso 2			25.33
Paso 3: Preparación e impresión de informe			
Cantidad	176.00	HH/36	4.89 HH
Precio	113.97		0.65
Costo paso 3			3.17
Costo total mano de obra			80.41
Elemento: Costos indirectos de fabricación			
Cantidad	176.00	HH/36	4.89 HH
Precio	2274.81		12.93
			<u>63.19</u>
COSTO ESTÁNDAR PARA UN ESPERMOGRAMA			167.24

Fuente: elaboración propia con información anexo 1. Año 2017

Cuadro 15.1

Resumen de costo estándar para un análisis de muestra de semen (cifras expresadas en quetzales)

COSTO UNITARIO PARA REALIZAR UN ANÁLISIS DE MUESTRA DE SEMEN

Elemento	Costo
1 Materia prima	23.64
2 Mano de obra	80.41
3 Costos indirectos	63.19
Costo unitario de producción	167.24
Costo total de producción	6020.69
Producción total mensual	36.00

Fuente: elaboración propia con información cuadro 15. Año 2017.

Cuadro 15.2

Determinación de la utilidad para un análisis de muestras de semen (cifras expresadas en quetzales)

DETERMINACIÓN DE LA UTILIDAD ANÁLISIS DE MUESTRA DE SEMEN	
INGRESO AL LABORATORIO	187.50
COSTO	167.24
UTILIDAD POR UNIDAD	20.26

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 14 y 15.1. Año 2017.

Cuadro 16

Hoja técnica de costo estándar para preparación de muestra de semen (cifras expresadas en quetzales)

Elemento: materia prima			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo Total
1.2	Jeringa de 3cc, 5cc o 10cc	0.71	0.86
1.2	tira de papel PH	3.35	4.02
2.4	Puntas de 20ul	0.67	1.61
1.2	Vaso plástico con etiqueta	3.39	4.07
2.4	Hoja impresa más 1 sobre	1.25	3.00
2.4	Portaobjetos	0.02	0.05
2.4	Cubreobjetos	0.03	0.07
1.2	ml de colorante VitaStain	0.87	1.04
1.2	Tubo Eppendorf de 15ml	0.44	0.53
1.2	MI de Etanol	0.33	0.39
1.2	MI de eosina	0.87	1.04
1.2	ml de Azul de metileno	0.87	1.04
1.2	Par de guantes de nitrilo	6.00	7.20
2.4	Kimwipe	0.18	0.43
3.6	Tubo Falcon de fondo cónico de 15ml	5.71	20.57
1.2	MI de Sperm Wash	7.09	8.51
6.5	MI de Sperm 100	16.44	106.56
2.4	Pipeta de vidrio	16.44	39.47
0.2	Pipeta de plástico con bulbo	16.44	3.95
3.1	Sperm Buffer	4.98	15.53
4.8	Punta micropipeta azul	0.88	4.20
4.8	Punta micropipeta amarilla	0.64	3.09
1.2	Cánula de inseminación	118.00	141.60
0.0	Metanol	53.57	1.29
1.2	Pipeta serológica de 10ml	1.05	1.26
TOTAL			371.38
Elemento: mano de obra			
Paso 1: preparación tubo, recuperación, centrifugado			
Horas Hombre	176 mensuales	HH/11	16
Costo HHH	243.77 mensual	x	1.39
<u>Costo paso 1</u>			<u>22.16</u>
Paso 2: preparación Swim Up, preparación muestra			
Cantidad	176 mensuales	HH/11	16
Precio	911.7642857 mensual	x	3.56
<u>Costo paso 2</u>			<u>56.99</u>
Paso 3: recuperación, morfología			
Cantidad	176 mensuales	HH/11	16
Precio	113.9705357 mensual	x	1.39
<u>Costo paso 3</u>			<u>22.16</u>
Paso 4: carga de la cánula de inseminación			
Cantidad	176 mensuales	HH/11	16
Precio	113.9705357 mensual	x	0.59
<u>Costo paso 4</u>			<u>9.5</u>
Costo total mano de obra			101.31
Elemento: Costos indirectos de fabricación			
Cantidad	176 mensuales	HH/11	16
Precio	6294.83 mensual	x	35.77
<u>Total costos indirectos de fabricación</u>			<u>572.26</u>
COSTO ESTÁNDAR PARA PREPARACIÓN DE MUESTRA DE SEMEN			1044.95

Fuente: elaboración propia con información del anexo 1. Año 2017.

Cuadro 16.1
Resumen hoja técnica costo estándar para preparación
de muestra de semen
(cifras expresadas en quetzales)

COSTO UNITARIO PARA REALIZAR UN ANÁLISIS DE MUESTRA DE SEMEN	
Elemento	Costo
1 Materia prima	371.38
2 Mano de obra	101.31
3 Costos indirectos	572.26
Costo unitario de producción	1044.95
Costo total de producción	11494.41
Producción total mensual	11.00

Fuente: elaboración propia con información del cuadro 16. Año 2017.

Cuadro 16.2
Determinación de la utilidad para una preparación de muestra de semen
(cifras expresadas en quetzales)

DETERMINACIÓN UTILIDAD	
INGRESO AL LABORATORIO	1205.36
COSTO	1044.95
UTILIDAD POR UNIDAD	160.41

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 14 y 16.1. Año 2017.

Cuadro 17

Hoja técnica de costo estándar para congelación de semen por píldoras (Cifras expresadas en quetzales)

Elemento: materia prima			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo Total
1.2	Jeringa de 3cc, 5cc o 10cc	0.71	0.86
1.2	tira de papel PH	3.35	4.02
2.4	Puntas de 20ul	0.67	1.61
1.2	Vaso plástico con etiqueta	3.39	4.07
2.4	Hoja impresa más 1 sobre	1.25	3.00
2.4	Portaobjetos	0.02	0.05
2.4	Cubreobjetos	0.03	0.07
1.2	ml de colorante VitaStain	3.41	4.10
1.2	Tubo Eppendorf de 15ml	0.44	0.53
1.2	MI de Etanol	0.33	0.39
1.2	MI de eosina	0.87	1.04
1.2	ml de Azul de metileno	0.87	1.04
1.2	Par de guantes de nitrilo	6.00	7.20
2.4	Kimwipe	0.18	0.43
3.6	Tubo Falcon de fondo cónico de 15ml	5.71	20.57
1.2	MI de Sperm Wash **	7.09	8.51
6.48	MI de Sperm 100	16.44	106.56
2.4	Pipeta de vidrio	16.44	39.47
0.24	Pipeta de plástico con bulbo**	16.44	3.95
3.12	Sperm Buffer	4.98	15.53
4.8	Punta micropipeta azul	0.88	4.20
4.8	Punta micropipeta amarilla	0.64	3.09
0.024	Metanol	53.57	1.29
0.42	MI de crioprotector (Sperm Freezing)	46.40	19.49
0.6	Libras de CO2 Gaseoso	5.36	3.21
2.4	Litro de Nitrógeno líquido (anual)	39.29	94.29
1.2	Criotubo de 2.0 ml	2.12	2.54
1.2	Tubo con fondo redondo de 3.0 ml	5.58	6.70
1.2	Gorro quirúrgico	1.00	1.20
1.2	Guantes de nitrilo	1.43	1.71
0.06	Marcador para rotular	1.43	0.09
1.2	Pipeta serológica de 10ml	1.05	1.26
Total			362.07
Elemento: mano de obra			
Paso 1: preparación tubo, recuperación, centrifugado			
Horas Hombre	176 mensuales	HH/3	58.67
Costo HHH	83.58 mensual	x	0.47
Costo paso 1			27.86
Paso 2: preparación Swim Up, preparación muestra			
Cantidad	176 mensuales	HH/3	58.67
Precio	911.7642857 mensual	x	1.26
Costo paso 2			74.08
Paso 3: recuperación morfología			
Cantidad	176 mensuales	HH/3	58.67
Precio	113.9705357 mensual	x	0.92
Costo paso 3			54.82
Paso 4: congelación y almacenamiento			
Cantidad	176 mensuales	HH/3	58.67
Precio	113.9705357 mensual	x	0.22
Costo paso 4			12.86
Costo total mano de obra			168.42
Elemento: Costos indirectos de fabricación			
Cantidad	176 mensuales	HH/3	58.67
Precio	1799.64 mensual	x	10.23
Total costos indirectos de fabricación			599.88
COSTO ESTÁNDAR PARA CONGELACIÓN DE MUESTRA DE SEMEN			1130.37

Fuente: elaboración propia con información del anexo 1. Año 2017.

Cuadro 17.1
Resumen hoja técnica costo estándar para congelación
de semen por píldoras
(Cifras expresadas en quetzales)

COSTO UNITARIO PARA REALIZAR UN ANÁLISIS DE MUESTRA DE SEMEN

Elemento	Costo
1 Materia prima	362.07
2 Mano de obra	168.42
3 Costos indirectos	599.88
Costo unitario de producción	1130.37
Costo total de producción	3391.11
Producción total mensual	3.00

Fuente: elaboración propia con cuadro 17. Año 2017.

Cuadro 17.2
Determinación de la utilidad para una congelación de
muestra de semen por píldoras
(cifras expresadas en quetzales)

DETERMINACIÓN UTILIDAD	
INGRESO AL LABORATORIO	1200.00
COSTO	1130.37
UTILIDAD	69.63

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 14 y 17.1. Año 2017.

Dado lo anterior, la utilidad para los tres servicios se resumen de la siguiente manera:

Cuadro 18

Resumen utilidad de los servicios de la unidad de Andrología (Cifras expresadas en quetzales)

Procedimiento	Análisis muestra	Preparación muestra	Congelación semen
Utilidad	20.26	160.41	69.63

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 15.2, 16.2 y 17.2.

- **Costeo y utilidad de servicios unidad de embriología:** a continuación se presenta el costeo y determinación de la utilidad para los servicios seleccionados del laboratorio de embriología. Este fue elaborado en base a la recolección de información realizada con el personal de la unidad, seguido de la observación directa de los procesos y el cotejo de ambas actividades. Por practicidad se realizó el costeo en dólares americanos de los Estados Unidos de Norteamérica, debido a que estos procedimientos son trabajados con esta moneda, sin embargo, la utilidad será convertida a moneda quetzales para una mejor comprensión de los mismos.

Cuadro 19
Hoja técnica de costo estándar para Fecundación
In Vitro convencional
(Cifras expresadas en quetzales)

Elemento: materia prima			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo Total
Paso 1: punción / recuperación de óvulos			
1.1	Tubo Falcon fondo redondo de 10-15ml	4.2	4.67
6.6	Placas Petri de 100ml	1.7	11.33
1.65	Frasco estéril con tapadera roja y etiqueta	1.0	1.61
2.2	Jeringas de 1ml	1.1	2.44
1.1	Guantes estériles sin talco	16.4	18.03
1.1	Aguja para aspiración folicular	220.5	242.57
3.3	Pipeta Pasteur de borosilicato	52.2	172.32
11	MI de HTF con 10% de albumina	7.2	79.66
2.2	Ampollas de albúmina (250 ml HTF)	6.1	13.32
39.6	MI de HTF más albúmina (6 ml por placa)	7.9	314.37
19.8	MI de aceite Lifeguard Oil (3 ml por placa)	4.7	92.91
3.3	ML de Life Global Total W/HSA (0.5 ml por placa)	21.8	71.81
23.1	ML aceite lifeguard Oil (3.5 ml por placa)	4.8	111.93
2.2	Puntas para micropipeta P-10000	0.7	1.46
2.2	Puntas para micropipeta P-200	1.0	2.12
1.1	Uso sala de operaciones con encamamiento	443.5	487.80
Paso 2: fecundación óvulos y cultivo embriones			
3.3	Placa Nunc de 35mm	9.3	30.83
2.2	Pipeta Pasteur de borosilicato	52.2	114.88
0.55	Life Global Total HSA (por placa)	93.6	51.46
1.1	Semen capacitado	109.5	120.45
Paso 3: transferencia de embriones			
1.1	Cateter para transferencia	266.7	293.38
1.1	Estilete (1/20)	128.5	141.35
2.2	Placas Nunc de 35mm	9.3	20.55
1.1	Pipeta Pasteur de borosilicato	52.2	57.44
1.1	Guantes esteriles sin talco	16.4	18.03
1.1	Tubo fondo redondo de 5ml	2.1	2.26
1.1	Papel para fotos	3.7	4.10
1.1	Uso sala de operaciones con encamamiento	298.0	327.80
			TOTAL 2,810.88
Elemento: mano de obra			
Paso 1: punción / recuperación de óvulos			
Horas Homt	4 mensuales	Costo	750 individual
Costo HHH	3000 mensual	x	1
			Costo paso 1 750
Paso 2: Fecundación in vitro y cultivo de embriones			
Cantidad	4 mensuales	Costo	1500
Precio	6000 mensual	x	1
			Costo paso 2 1500
Paso 3: transferencia de embriones y Hatching asistido			
Cantidad	4 mensuales	Costo	750 individual
Precio	3000 mensual	x	1
			Costo paso 3 750
			Costo total mano de obra 3,000.00
Elemento: Costos indirectos de fabricación			
Cantidad	4 mensuales	Costo	6702.2
Precio	26808.9 mensual	x	1
			Total costos indirectos de fabricación 6702
			COSTO ESTÁNDAR PARA FECUNDACIÓN IN VITRO CONVENCIONAL 12,512.88

Fuente: elaboración propia con información del anexo 2. Año 2017.

Cuadro 19.1
Resumen de hoja técnica de costo estándar para
Fecundación In Vitro convencional
(Cifras expresadas en quetzales)

COSTO UNITARIO PARA UN CICLO COMPLETO DE FECUNDACIÓN IN VITRO CONVENCIONAL CON TRANSFERENCIA DE EMBRIONES y HATCHING ASISTIDO	
Elemento	Costo
1 Materia prima	2810.88
2 Mano de obra	3000.00
3 Costos indirectos	6702.00
Costo unitario de producción	12512.88
Costo total de producción	50051.52
Producción total mensual	4.00

Fuente: elaboración propia con información del cuadro 19. Año 2017.

Cuadro 19.2
Determinación de la utilidad para una
Fecundación In Vitro convencional
(Cifras expresadas en quetzales)

DETERMINACIÓN UTILIDAD	
INGRESO AL LABORATORIO	15,277.50
COSTO	12,512.88
UTILIDAD	2,764.62

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 14 y 19.1. Año 2017.

Cuadro 20

Hoja técnica de costo estándar para Fecundación In Vitro más inyección intracitoplasmática de espermatozoides – ICSI- (Cifras expresadas en quetzales)

Elemento: materia prima			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo Total
Paso 1: punción / recuperación de óvulos			
1.1	Tubo Falcon fondo redondo de 10-15ml	4.2	4.67
6.6	Placas Petri de 100ml	1.7	11.33
1.65	Frasco estéril con tapadera roja y etiqueta	1.0	1.61
2.2	Jeringas de 1ml	1.1	2.44
1.1	Guantes estériles sin talco	16.4	18.03
1.1	Aguja para aspiración folicular	220.5	242.57
3.3	Pipeta Pasteur de borosilicato	52.2	172.32
11	MI de HTF con 10% de albúmina	7.2	79.66
2.2	Ampollas de albumina (250 ml HTf)	6.1	13.32
39.6	MI de HTF más albúmina (6 ml por placa)	7.9	314.37
19.8	MI de aceite Lifeguard Oil (3 ml por placa)	4.7	92.91
3.3	ML de Life Global Total W/HSA (0.5 ml por placa)	21.8	71.81
23.1	ML aceite lifeguard Oil (3.5 ml por placa)	4.8	111.93
2.2	Puntas para micropipeta P-10000	0.7	1.46
2.2	Puntas para micropipeta P-200	1.0	2.12
1.1	Uso sala de operaciones con encamamiento	443.5	487.80
Paso 2: decumulación de óvulos			
3.3	Placa Nunc de 35 mm	9.3	30.83
1.1	Pipeta Pasteur de Borosilicato	52.2	57.44
1.1	Pipeta Stripper 135mm	93.6	102.93
1.65	MI de hyaloronidasa (0.5 por placa)	109.5	180.67
1.65	MI de Life Global HEPES (0.5 por placa)	14.9	24.54
11.55	ML de aceite mineral (3.5ml por placa)	5.8	66.77
1.1	Semen capacitado (Costo de Swim Up)	885.4	973.89
Paso 3: ICSI y cultivo embriones			
1.1	Aguja de ICSI	84.9	93.42
1.1	Aguja Holding	189.0	207.90
1.1	Pipeta Pasteur de borosilicato	52.2	57.44
2.2	Placa Falcon 60mm (1 por cada 6 óvulos)	2.7	6.01
19.8	MI de Aceite Mineral (9ml por cada placa)	4.8	95.94
1.1	MI de Global HEPES (0.5 por placa)	13.7	15.11
1.1	Frasco de PVP	198.6	218.42
Paso 4: transferencia de embriones			
1.1	Cateter para transferencia	266.7	293.38
1.1	Estilete (1/20)	128.5	141.35
2.2	Placas Nunc de 35mm	9.3	20.55
1.1	Pipeta Pasteur de borosilicato	52.2	57.44
1.1	Guantes estériles sin talco	16.4	18.03
1.1	Tubo fondo redondo de 5ml	2.1	2.26
1.1	Papel para fotos	3.7	4.10
1.1	Uso sala de operaciones con encamamiento	298.0	327.80
TOTAL			4624.57
Elemento: mano de obra			
Paso 1: punción / recuperación de óvulos			
Horas Hombre	4 mensuales	Costo	750 individual
Costo HHH	3000 mensual	x	1
		Costo paso 1	750
Paso 2: decumulación, FIV y cultivo de embriones			
Cantidad	4 mensuales	Costo	1500
Precio	6000 mensual	x	1
		Costo paso 2	1500

Paso 3: ICSI			
Cantidad	4 mensuales	Costo	1237.5 individual
Precio	4950 mensual	x	1
			Costo paso 3
			1237.50
Paso 3: transferencia de embriones y Hatching asistido			
Cantidad	4 mensuales	Costo	750 individual
Precio	3000 mensual	x	1
			Costo paso 3
			750
			Costo total mano de obra
			4237.50
Elemento: Costos indirectos de fabricación			
Cantidad	4 mensuales	Costo	6702.2
Precio	26808.9 mensual	x	1
			Total costos indirectos de fabricación
			6702
			COSTO ESTÁNDAR PARA FECUNDACIÓN IN VITRO CONVENCIONAL MAS ICSI
			15,564.07

Fuente: elaboración propia con información del anexo 2. Año 2017.

Cuadro 20.1

Resumen hoja técnica de costo estándar para Fecundación In Vitro más inyección intracitoplasmática de espermatozoides – ICSI-

Cifras expresadas en quetzales

COSTO UNITARIO PARA UN CICLO COMPLETO DE FECUNDACIÓN IN VITRO MÁS INYECCIÓN CITOPASMÁTICA DE ESPERMATOZIDES - ICSI- CON TRANSFERENCIA DE EMBRIONES y HATCHING ASISTIDO

Elemento	Costo
1 Materia prima	4624.57
2 Mano de obra	4237.50
3 Costos indirectos	6702.00
Costo unitario de producción	15564.07
Costo total de producción	62256.29
Producción total mensual	4.00

Fuente: elaboración propia con información del cuadro 20. Año 2017.

Cuadro 20.2

Determinación de la utilidad para un ICSI

Cifras expresadas en quetzales

DETERMINACIÓN DE LA UTILIDAD FIV MAS ICSI	
INGRESO AL LABORATORIO	17,407.50
COSTO	15,564.07
UTILIDAD POR UNIDAD	1,843.43

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 14 y 20.1. Año 2017.

Cuadro 21

Hoja técnica de costo estándar para acumulación de óvulos (Cifras expresadas en quetzales)

Elemento: materia prima			
Cantidad	Descripción	Costo unitario	Costo Total
Paso 1: punción / recuperación de óvulos			
1.1	Tubo Falcon fondo redondo de 10-15ml	4.2	4.67
6.6	Placas Petri de 100ml	1.7	11.33
1.65	Frasco esteril con tapadera roja y etiqueta	1.0	1.61
2.2	Jeringas de 1ml	1.1	2.44
1.1	Guantes estériles sin talco	16.4	18.03
1.1	Aguja para aspiración folicular	220.5	242.57
3.3	Pipeta Pasteur de borosilicato	52.2	172.32
11	MI de HTF con 10% de albumina	7.2	79.66
2.2	Ampollas de albúmina (250 ml HTf)	6.1	13.32
39.6	MI de HTF más albúmina (6 ml por placa)	7.9	314.37
19.8	MI de aceite Lifeguard Oil (3 ml por placa)	4.7	92.91
3.3	ML de Life Global Total W/HSA (0.5 ml por placa)	21.8	71.81
23.1	ML aceite lifeguard Oil (3.5 ml por placa)	4.8	111.93
2.2	Puntas para micropipeta P-10000	0.7	1.46
2.2	Puntas para micropipeta P-200	1.0	2.12
1.1	Uso sala de operaciones con encamamiento	443.5	487.80
Paso 2: decumulación de óvulos			
3.3	Placa Nunc de 35 mm	9.3	30.83
1.1	Pipeta Pasteur de Borosilicato	52.2	57.44
1.1	Pipeta Stripper 135mm	93.6	102.93
1.65	MI de hyaloronidasa (0.5 por placa)	109.5	180.67
1.65	MI de Life Global HEPES (0.5 por placa)	14.9	24.54
11.55	ML de aceite mineral (3.5ml por placa)	5.8	66.77
Paso 3: congelación de óvulos			
1.1	Cyotop	59.6	65.56
1.1	Pipeta Pasteur de borosilicato	52.2	57.44
1.1	Kit de vitrificación	2138.2	2351.97
2.2	Litro de nitrógeno líquido	39.7	87.41
1.1	Rejilla	20.5	22.54
1.1	Canister	41.0	45.07
1.1	Banderilla	9.3	10.24
2.2	Puntas para micropipeta p-1000	0.7	1.46
TOTAL			4733.23
Elemento: mano de obra			
Punción, recuperación y congelación de óvulos			
Horas Hombre	4 mensuales	Costo	750 individual
Costo HHH	3000 mensual	x	1
Costo paso 1			750
Costo total mano de obra			750
Elemento: Costos indirectos de fabricación			
Cantidad	4 mensuales	Costo	1117.05
Precio	4468.2 mensual	x	1
Total costos indirectos de fabricación			1117.05
COSTO ESTÁNDAR PARA ACUMULACIÓN DE ÓVULOS			6,600.28

Fuente: elaboración propia con información del anexo 2. Año 2017.

Cuadro 21.1

Resumen hoja técnica de costo estándar para acumulación de óvulos (Cifras expresadas en quetzales)

COSTO UNITARIO PARA ACUMULACIÓN DE ÓVULOS	
Elemento	Costo
1 Materia prima	4733.23
2 Mano de obra	750.00
3 Costos indirectos	1117.05
Costo unitario de producción	6600.28
Costo total de producción	26401.12
Producción total mensual	4.00

Fuente: elaboración propia con información del cuadro 21. Año 2017.

Cuadro 21.2

Determinación de la utilidad para una acumulación de óvulos (Cifras expresadas en quetzales)

DETERMINACIÓN DE LA UTILIDAD PARA ACUMULACIÓN DE ÓVULOS	
INGRESO AL LABORATORIO	7,500.00
costo	6,600.28
Utilidad por unidad	899.72

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 14 y 21.1. Año 2017.

Cuadro 22

Resumen utilidad de los servicios de la unidad de Embriología (Cifras expresadas en quetzales)

Procedimiento	FIV	FIV/ICSI	ACUMULACIÓN
Utilidad	2,764.62	1,843.43	899.72

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 19.2, 20.2 y 21.2.

Cuadro 23

Relación de actividades y procesos de la unidad de embriología y tiempo asignado por unidad en minutos

Proceso 1 FIV Convencional		Proceso 2 FIV / ICSI		Proceso 3 Acumulación		Asignación por actividad/depto.	
Actividad	Tiempo	Actividad	Tiempo	Actividad	Tiempo	Asignación total	
Quirófano	35	Quirófano	35	Quirófano	35	9000	
Encamamiento	240	Encamamiento	240	Encamamiento	30	50000	
Embriología	4320	Embriología	4410	Embriología	180	756,000	
Total	4,595	Total	4,685	Total	245		

*Capacidad de instalaciones (350 días al 1.5 procedimientos al día en promedio)

Fuente: elaboración propia con información del trabajo de campo. Año 2017.

2.3.5 Demanda de servicios

“La infertilidad afecta al 10% de las parejas en edad reproductiva de la población mundial, es decir que aproximadamente 80 millones de mujeres se ven afectadas por este problema en edad reproductiva entre 14 y 45 años, del total de 7,5 mil millones de habitantes que se estiman”(Sánchez, 2014). “En América Latina, esto representa alrededor de 14 millones” (Luna, 2013). Para Guatemala, se

considera que el 15% de las parejas se ve afectada por esta enfermedad (OMS, 2018; UROMED, 2018), es decir que cerca de medio millón de mujeres sufren estas condiciones y requieren apoyo en esta área, este último dato calculado según el último censo realizado por el Instituto Nacional de Estadística. (INE, 2012).

- **Demanda de servicios del centro:** De acuerdo a las estadísticas de los últimos años, la demanda puede estimarse de la siguiente manera: pronosticado por medio del método de mano de libre.

Cuadro 24
Demanda de tratamientos de baja complejidad
para el centro por servicios prestados en 5 años

Fuente: elaboración propia con información del trabajo de campo año 2017.

Proceso	Año 2012	Año 2013	Año 2014	Año 2015	Año 2016
Análisis de muestras	88	289	473	495	522
Preparación de muestras	43	77	111	132	177
Congelación semen	36	65	93	118	141

En los tratamientos de alta complejidad, se muestra la demanda de los últimos años y la estimación utilizando el pronóstico de ventas por método de mano libre (Martínez, 2012)

Tabla 5
Demanda del servicio Fecundación
In vitro convencional al centro en 6 años

Año	Demanda
2011	44
2012	65
2013	78
2014	80
2015	74
2016	83

Fuente: elaboración propia con información del trabajo de campo. Año 2017.

Tabla 6
Demanda del servicio Fecundación In vitro convencional
con inyección intracitoplasmática de espermatozoides al
centro en 4 años

Año	Demanda
2013	32
2014	23
2015	17
2016	22

Fuente: elaboración propia con información del trabajo de campo. Año 2017.

Tabla 7
Demanda del servicio acumulación
de óvulos al centro en 4 años

Año	Demanda
2013	26
2014	19
2015	15
2016	12

Fuente: elaboración propia con información del trabajo de campo. Año 2017.

Cuadro 25
Proyección de la demanda de
tratamientos de baja complejidad para el centro de fertilidad

PROCESO	Año 2015 (existente)	Año 2016 (existente)	Año 2017 (proyectado)
Análisis de muestra de semen	495	512	600
Preparación de muestra de semen	132	177	320
Congelación de muestra de semen	118	141	162

Fuente: elaboración propia con información del cuadro 24. Año 2017.

Para proyectar el año 2017 de la demanda del cuadro 25 se aplicó la fórmula de pronóstico de ventas por el método de mano libre ($IP = (u - a) / n$ y $P = IP + u$), con los datos conocidos para el año 1 y 5 del cuadro 24 de la siguiente manera:

- **Interpretación de la fórmula**

P = pronóstico para el siguiente año (año 6)

u = demanda último año (año 5)

a = primer año (año 1)

n = número de años (5)

- **Análisis muestra de semen**

$$IP = (522-82)/5 = 440/5 = 88, P = 88 + 512 = 600$$

- **Preparación de muestras de semen**

$$IP = (277-62)/5 = 215/5 = 43, P = 43 + 277 = 320$$

- **Congelación de muestras de semen**

$$IP = (141-36)/5 = 105/5 = 21, P = 21+141= 162$$

Cuadro 26
Proyección de la demanda de
tratamientos de alta complejidad para el centro de fertilidad

PROCESO	Año 2015 (dato existente)	Año 2016(dato existente)	Año 2017 (proyección)
ACUMULACIÓN	15	12	16
FIV CONVENCIONAL	74	83	90
FIV / ICSI	17	22	25

Fuente: elaboración propia con información de las tablas 5, 6 y 7. Año 2017.

Para proyectar la demanda del año 2017 en el cuadro 26, se aplicó la fórmula de pronóstico de ventas por el método de mano libre ($IP = (u - a) / n$ y $P = IP + u$), con los datos conocidos en cada uno de los tratamientos mostrados en las tablas 5,6 y 7 de la siguiente manera:

- **Interpretación de la fórmula**

P = pronóstico para el siguiente año (2017)

u = demanda último año (2016)

a = primer año

n = número de años

- **Acumulación**

$$IP = (26-12)/4 = 14/4 = 3.5 = 4, P = 4 + 12 = 16$$

- **FIV convencional**

$$IP = (83-44)/6 = 39/6 = 6.5 = 7, P = 7 + 83 = 90$$

- **FIV / ICSI**

$$IP = (32-22)/4 = 10/4 = 2.5 = 3, P = 2+22 = 25$$

2.3.6 Principales competidores

Es importante mencionar que en el país, existen otras clínicas y centros dedicados a la infertilidad y reproducción humana, algunos cuentan con su propio laboratorio y otros utilizan sus servicios para proveer a sus clientes el servicio completo.

- **Laboratorios que operan actualmente:** existen cuatro laboratorios especializados en infertilidad y reproducción humana en el mercado, incluyendo la organización objeto de este estudio. Todos los laboratorios funcionan como centros de referencia hacia otras clínicas o centros que no cuentan con todo el equipo necesario, en especial para los tratamientos de alta complejidad.
- **Opciones secundarias en el mercado guatemalteco:** es posible encontrar otras opciones para el tratamiento de la pareja infértil como lo es la adopción, la cual es muy aceptada en el mercado, en especial en temas de costos o bien, de tratamientos fallidos de fertilidad.

- **Opciones secundarias en el mercado exterior:** países como El Salvador, Nicaragua, Panamá, Estados Unidos, España, entre otros, son opciones que pueden considerarse para una pareja con los recursos económicos para trasladarse a dichos países.

2.3.7 Personal capacitado para realizar tratamientos de infertilidad en Guatemala

Para operar un centro de fertilidad en Guatemala, especialmente el área de laboratorio, se requiere personal entrenado específicamente para esos procedimientos, lo que lo hace una especialidad compleja de establecer.

- **Centros de capacitación local:** en el país no existen centros acreditados para ofrecer estudios en infertilidad, aunque pueden encontrarse seminarios, entrenamientos, unidades en los hospitales institucionales.
- **Centros de capacitación internacional:** el personal del centro, así como de los laboratorios que existen en el país, han sido entrenados en países como España, México, Estados Unidos y Panamá, en los centros de reproducción humana más grandes del mundo, los cuales están acreditados para la enseñanza y tiene un número considerable de casos en el año, que los hace aptos para su especialización.
- **Oferta y demanda de personal calificado en Guatemala:** al existir únicamente cuatro laboratorios especializados tanto en tratamientos de baja como de alta complejidad, la demanda de este personal en el área de laboratorio es escasa, sin embargo, se requiere estudios en ciencias químicas para ser enviados a entrenamiento en los centros de fertilidad. Para el área médica, la demanda se extiende al porcentaje de la población que padece de condiciones de infertilidad.

2.3.8 Relación utilidad / inversión

Actualmente se considera que se está trabajando en el punto de equilibrio, donde no se han obtenido utilidades significativas de las actividades provenientes de los laboratorios.

De acuerdo al costeo realizado, las utilidades esperadas para los principales servicios son las siguientes (ver anexo I para mayores detalles):

Cuadro 27
Resumen utilidad de los servicios y tratamientos
de laboratorio de andrología y embriología
(Cifras expresadas en quetzales)

Proceso	Utilidad
Análisis de muestra	20.26
SWIN UP	160.41
Congelación de semen	69.63
Fecundación In Vitro convencional	2,764.62
Fecundación In Vitro más ICSI	1,843.43
Acumulación de óvulos	899.72

Fuente: elaboración propia con información de los cuadros 14 y 18. Año 2017.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DEL MODELO MATEMÁTICO Y PROPUESTA DE SOLUCIÓN

3.1 Objetivos

La presente investigación fue realizada teniendo como guía los siguientes objetivos para la aplicación del método simplex:

3.1.1 General

Encontrar la solución óptima para el aprovechamiento máximo de los recursos con los que cuenta la empresa, a través del método simplex, por medio del uso de datos matemáticos, que ayuden a tomar decisiones estratégicas.

3.1.2 Específicos: que se enuncian a continuación.

- Enumerar los pasos que intervienen en la implementación del método simplex.
- Conocer la máxima utilidad que puede esperarse a través de la combinación óptima de los servicios que se realizan.
- Encontrar otros escenarios de solución, atendiendo a la demanda propia de la organización para realizar análisis.
- Presentar una propuesta de control sobre los resultados obtenidos a través de la aplicación del método simplex.
- Dar a conocer los lineamientos básicos que producen los resultados obtenidos.

3.2 Definir el problema

La empresa objeto de estudio cuenta con un laboratorio especializado en infertilidad y reproducción humana, con dos unidades de servicio en las ramas de

Andrología y Embriología. La junta Directiva de la organización, indica que de acuerdo a sus cierres de operación, ambas unidades están operando en el punto de equilibrio y no han obtenido utilidad en los últimos tres años, no obstante están completamente equipados y tienen el capital humano necesario para operar en óptimas condiciones, situación que permite estar a la altura de un laboratorio europeo. Se tiene la creencia que por ser un laboratorio del tamaño diez veces más pequeño que un Europeo, se podría realizar igual proporción de procedimientos, por contar con equipos similares y especialistas entrenados en España, lo que los coloca en circunstancias similares en cuanto a oferta.

Sin embargo, en el país, el acceso y apertura de la población a estos servicios es limitado y las circunstancias del ambiente legal, económico y político son diferentes a las de los continentes Europeos. Los costos del equipo, materia prima y mano de obra, no son similares, derivado que no se es un país productor ni de materia prima ni capacitador de personal calificado para estos servicios, encareciendo los costos de los mismos y significado otro tipo de retos para la organización, muy diferentes a los retos de los centros de otros continentes.

De continuar en el punto de equilibrio, la empresa podría llegar a cerrar en un futuro, con el consiguiente problema de despido de trabajadores, desatender aquellas personas que demandan sus servicios impactando de esa manera en el empleo y privando la oportunidad a los clientes de obtener un servicio profesional, calificado y con precios accesibles, en comparación con otros países del continente americano como Estados Unidos, Panamá, México, entre otros.

Por lo anterior, la empresa necesita conocer cuál es la capacidad máxima real con la que cuenta y cuál es el máximo beneficio que puede obtener el departamento de Laboratorio con los recursos que tiene. Para ello, se requiere aplicar un modelo con respaldo matemático, que permita conocer tanto la capacidad como la combinación adecuada de servicios, que los llevará a obtener

la máxima utilidad, tomando cuenta aquellas limitante propias de su operación, para no descuidar la calidad y el servicio que le caracteriza. Este modelo debe permitirle conocer su oportunidad de crecimiento y los puntos de control necesarios, para que este sea de manera sostenida.

Los principales servicios que presta el laboratorio, en sus dos unidades (andrología y embriología), se pueden observar en el siguiente cuadro, donde se indica el ingreso directo que obtiene de cada uno de ellos.

Cuadro 28
Resumen de ingreso monetario y utilidad para el centro
y para el departamento de laboratorio
(Cifras expresadas en quetzales)

Servicio	Ingreso al Centro por servicio	Ingreso al laboratorio por servicio	Utilidad por servicio
Análisis de muestra	300.00	187.50	20.26
Preparación de muestra	3,300.00	1,205.36	160.41
Congelación de semen	1,500.00	1,200.00	69.62
Fecundación In Vitro	35,000.00	15,277.50	2,764.62
Fecundación In Vitro/ ICSI	37,000.00	17,407.50	1,843.43
Acumulación de óvulos	9,750.00	7,500.00	899.72

Fuente: Elaboración propia con información de los cuadros 14 y 18. Año 2017.

1.3 Desarrollo del modelo matemático

Luego de conocer y analizar la situación del centro, se ha establecido los objetivos para aplicar el modelo matemático que muestre diferentes escenarios que puede considerar la empresa para establecer sus estrategias de comercialización.

1.3.1 Unidad de Andrología

A continuación se desarrolla la aplicación del modelo para el laboratorio de Andrología, es decir para los procedimientos de baja complejidad.

A. Identificar

Se inicia el desarrollo del modelo con la identificación de lo siguiente:

- **Datos:** en el presente estudio, se determinó que era necesaria la aplicación del método simplex para cada unidad del laboratorio individual, por lo que de primera mano se trabajará en la unidad de andrología y posteriormente en la unidad de embriología, con cada uno de los datos que se obtuvieron por unidad.
- **Variables de decisión:** en el análisis del problema, las variables de decisión encontradas son los procesos y servicios principales que caracterizan a esta unidad de acuerdo con la información obtenida durante la investigación y que son realizados con mayor frecuencia, o que los mismos son indispensables para el tratamiento de la pareja infértil, sin los cuales el centro no operaría de forma regular, dado que el resto de servicios, complementan los servicios, algunos son optativos y otros no se realizan con regularidad. Se identifican dentro del modelo matemático como "Xn", para identificar a la variable y al correlativo asignado, siendo los siguientes:

X₁: Análisis de la muestra de semen

X₂: Preparación de muestra de semen

X₃: Congelación de muestra de semen por medio de píldoras

Estos tres servicios y/o procesos identificados como X_1 , X_2 y X_3 , se utilizarán en el modelo matemático para la unidad de andrología.

- A. Restricciones:** también conocidas como limitantes, son aquellas circunstancias como en este caso, la mano de obra calificada disponible, la capacidad operativa en horas de funcionamiento de la tecnología utilizada y la demanda mínima esperada para esta unidad, que inciden directamente en los resultados de la empresa y que afectarán los resultados del modelo matemático a aplicar.
- **Personal calificado para manejar la infertilidad y realizar tratamientos de reproducción humana:** debido a la complejidad de los estudios y la remuneración necesaria para mantener personal de alto perfil, se ha establecido un horario específico de atención para la realización de estos estudios y tratamientos, para enfocar el horario de atención en aquellos con mayor demanda para evitar lapsos prologados de tiempo sin prestación del servicio. Lo que permite maximizar la mano de obra especializada y enfocarla donde sus esfuerzos sean aprovechados lo mayor posible, como son otras unidades de la organización.
 - **Equipo especializado de alta tecnología:** el equipo que se utiliza para la prestación de estos servicios, también es utilizado en la unidad de embriología, lo que limita el tiempo efectivo para esta unidad. Además, cada etapa del proceso tiene asignado el tiempo ideal de utilización de equipo para que los resultados sean óptimos. Esta restricción debe ser cumplida ya que una demora en el tiempo o la utilización de equipo, incide en los resultados clínicos y técnicos que se obtienen.

- **Áreas físicas:** existe un área de toma de muestras de semen, la cual es única e importante para la obtención de las muestras que serán analizadas o procesadas en el laboratorio, la cual debe ser manejada de una forma eficiente para evitar cuellos de botella o bien, inconvenientes dentro del proceso.

- **Demanda y cantidad mínima de servicios:** para tener un escenario realista en cuanto al máximo beneficio que puede obtenerse de los recursos, es necesario conocer la demanda mínima esperada de los servicios que serán solicitados en el centro, considerado como un aspecto muy importante a la hora de realizar un pronóstico. De ello, se requiere conocer cuál es el mínimo de servicios que se deben realizar, atendiendo a las estadísticas que maneja el centro, derivado que estos se correlacionan directamente con los tratamientos de alta complejidad.

Los enunciados descritos anteriormente, se traducirán en restricciones dentro del modelo matemático, para que este simule la realidad en la que opera la organización y muestre resultados viables y sostenibles.

B. Forma del signo: de acuerdo a las restricciones plateadas con anterioridad, donde se enumeran las limitantes de cada uno de los recursos, se procederá a trabajar tomando en cuenta que estos no deben ser utilizados más allá de la disponibilidad indicada. El signo a utilizar es \leq y se homogenizará en las restricciones que lo ameriten.

C. Planteamiento del problema: a continuación, se presenta la información necesaria para el planteamiento del problema:

Datos:

Objetivo: Maximizar utilidades

Variables de decisión

Servicios:

- **Análisis de muestras de semen (X_1)**
- **Preparación de muestras de semen (X_2)**
- **Congelación de muestras de semen por medio de píldoras (X_3)**

Restricciones:

De acuerdo con los cuadros números 5, 12 y 25 y 28 las restricciones que tiene el laboratorio de andrología, son las siguientes:

- 1) Derivado del horario en el que se realizan citas para la realización de servicios. Se tiene a disposición de un total de 69,120 minutos para utilizar el área de toma muestras por el horario asignado de recepción de muestras en el centro, esto porque se agenda en las primeras horas de la mañana.
- 2) Para incubación, se cuenta con 69,120 minutos asignados a la actividad de incubación de muestras de semen para análisis, tiempo asignado para el personal de laboratorio, puesto que se realiza durante la mañana.
- 3) El personal técnico encargado de realizar el análisis microscópico de la muestra, tiene asignados 69,120 minutos a esta actividad. Este el tiempo diario que un laboratorista, tiene contemplado para realizar esta actividad, por ser realizada durante las mañanas.

El horario de trabajo para la unidad de andrología es de 7:00 a 13:00 horas, se ha asignado iniciar a las 7:00 con la recepción de muestras hasta 11:00 horas; a

las 8:00 inicia la incubación hasta las 12:00 horas y de 9:00 a 13:00 para los análisis microscópicos.

- 4) Se espera una demanda mínima de 600 análisis de muestras.
- 5) 320 preparaciones de muestras de semen, son la meta mínima de realización de este procedimiento
- 6) Se espera una demanda mínima de 162 congelaciones de espermatozoides.

El cuadro 29 muestra el resumen de la información para mejor comprensión.

Cuadro 29
Distribución de la disponibilidad vrs utilización de las unidades
de laboratorio en los tratamientos de baja complejidad

Unidad / proceso	Tiempo en minutos			Disponibilidad/ demanda mínima esperada anual
	Análisis de muestras X ₁	Preparación de muestras X ₂	Congelación de muestras X ₃	
Toma de muestras	15	15	15	69,120*
Incubación	13	68	78	69,120*
Análisis microscópico	38	50	65	69,120*
Análisis de muestras de semen	1			600**
Preparación de muestras de semen		1		320**
Congelación de muestras de semen			1	162**
Utilidad	20.26	160.41	69.62	

* Disponibilidad anual en minutos

** Demanda mínima esperada en unidades

Fuente: elaboración propia con información del cuadro 5 (utilización por proceso, pág. 60), cuadro 12 (disponibilidad de tiempo, pág. 68) y cuadro 25 (proyección de la demanda, pág. 86). Año 2017.

La utilidad por unidad de cada proceso es de Q.20.26 para el análisis de muestra, Q.160.41 para la preparación de muestra y Q.69.62 para la congelación. Según se observa en el cuadro no. 28.

D. Aplicación del método matemático simplex: en el presente estudio, se determinaron tres variables, seis restricciones y una función objetivo de maximización, datos importantes y necesarios para aplicar el modelo matemático simplex, planteando el problema como se muestra a continuación.

Cuadro 30
Planteamiento visual del problema en los tratamientos de
baja complejidad (unidad de andrología)

Departamento	Tiempo en minutos			Forma del Signo	Disponibilidad
	Análisis X_1	Preparación X_2	Congelación X_3		
Toma de muestras	15	15	15	\leq	69,120
Incubación	13	68	78	\leq	69,120
Análisis microscópico (andro)	38	50	65	\leq	69,120
Análisis de muestras	X			\geq	600
Preparación muestras		X		\geq	320
Congelación			X	\geq	162
Utilidad	20.26	160.41	69.63		

Fuente: elaboración propia con información del cuadro 5 (utilización por proceso, pág. 60), cuadro 12 (disponibilidad de tiempo, pág. 68) cuadro 25 (proyección de la demanda, pág. 86) y cuadro 28 (utilidad). Año 2017.

Una vez planteado el problema, se procede a la construcción del modelo matemático.

- E. Definir función objetivo en forma matemática:** la función objetivo se maximizará derivado del objetivo de la organización de optimizar sus recursos, debiendo conocerse cuál es la combinación óptima de servicios que maximicen la utilidad para cada variable y se define como sigue a continuación:

Función objetivo

$$\text{FO: MAX } 20.26X_1 + 160.41X_2 + 69.63X_3$$

Como se puede observar en la función objetivo, se busca maximizar la utilidad total que se producirá como sumatoria de la utilidad individual que brindará cada servicio multiplicado por las veces en que será brindado.

Igualar la función objetivo a cero

$$\text{FO: MAX} = -20.26X_1 - 160.41X_2 - 69.62X_3 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + Z = 0$$

- **Definir las restricciones en forma de desigualdades o inecuaciones:**
En la descripción del problema, se obtuvieron las restricciones y se detallaron de forma matemática. El signo \leq expresa que las restricciones deben ser igual o menor a cada uno de los recursos estudiados. Estas restricciones deben ser comprobadas con las respuestas que arroje el modelo, si las mismas se cumplen, se ha obtenido la combinación óptima y se ha cumplido con la función objetivo.

Restricciones

1) $15X_1 + 15X_2 + 15X_3$	\leq	69120	← Tiempo para recepción de muestras
4) $13X_1 + 68X_2 + 78 X_3$	\leq	69120	← Disponibilidad para incubación
3) $38X_1 + 50X_2 + 65 X_3$	\leq	69120	← Mano de obra asignada a análisis
4) X_1	\geq	600	← Demanda esperada de análisis
5) X_2	\geq	320	← Demanda esperada preparaciones
6) X_3	\geq	162	← Demanda esperada de congelaciones
7) $X_1, X_2 \text{ \& } X_3$	$>$	0	

Signo homogéneo para todas las restricciones

El resultado debe ser mayor a cero

El signo homogéneo es la característica fundamental que deben tener las restricciones. En este caso las restricciones nos. 4, 5 y 6 no son homogéneas, se procede a homogenizarlas:

$$4) X_1 \geq 600 \quad (-1)$$

$$-X_1 \leq -600$$

$$5) X_2 \geq 320 \quad (-1)$$

$$-X_2 \leq -320$$

$$6) X_3 \geq 162 \quad (-1)$$

$$-X_3 \leq -162$$

- **Convertir las desigualdades en igualdades y agregar variables de holgura:** al definir las restricciones en forma de desigualdades, se procede a convertir a igualdades agregando variables de holgura, una para cada desigualdad como se muestra a continuación.

$$\begin{array}{rcl}
 1) & 15X_1 + 15X_2 + 15X_3 & + h_1 = 69120 \\
 2) & 13X_1 + 68X_2 + 78 X_3 & + h_2 = 69120 \\
 3) & 38X_1 + 50X_2 + 65 X_3 & + h_3 = 69120 \\
 4) & - X_1 & + h_4 = - 600 \\
 5) & - X_2 & + h_5 = - 320 \\
 6) & - X_3 & + h_6 = - 162
 \end{array}$$

F. Construir tableros simplex: una vez determinados los datos y las variables de holgura, se inicia el desarrollo del modelo matemático.

- **Estructura de la tabla inicial simplex:** todas las variables del problema aparecen en las columnas y en las filas, los coeficientes de las igualdades obtenidas anteriormente, cada restricción en una fila y la última fila tendrá los coeficientes de la función objetivo, tal como se muestra a continuación:

Estructura del primer tablero simplex con variables de holgura

Variables de	Variables de holgura	Restricciones								
↓	↓	↓								
X₁	X₂	X₃	h₁	h₂	h₃	h₄	h₅	h₆	Z	C
15	15	15	1	0	0	0	0	0	0	69120
13	68	78	0	1	0	0	0	0	0	69120
38	50	65	0	0	1	0	0	0	0	69120
- 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	- 600
0	- 1	0	0	0	0	0	1	0	0	- 320
0	0	- 1	0	0	0	0	0	1	0	- 162
-20.26	-160.41	-69.62	0	0	0	0	0	0	1	0

Función objetivo con signo negativo

La tabla anterior es denominada tabla simplex y es la base de la solución factible.

Al desarrollar el método simplex, se reemplaza una solución básica factible (SBF) por otra, la variable de salida, es la variable que se remueve de la base y la que reemplaza se denomina variable de entrada. La variable de holgura es aquella que absorbe la diferencia entre el lado izquierdo y derecho al convertir una desigualdad de la forma \leq en igualdad.

El siguiente paso es establecer la columna pivote (CP), tomando de X_1 , X_2 o X_3 , en su última fila, el elemento con menor valor. Luego en esta columna, el elemento pivote (EP), será el de menor cociente positivo. Estos pasos se repiten en todos los tableros simplex. El primero tablero simplex, quedaría de la siguiente manera:

Primer tablero simplex

X_1	X_2	X_3	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
15	15	15	1	0	0	0	0	0	0	69120
13	68	78	0	1	0	0	0	0	0	69120
38	50	65	0	0	1	0	0	0	0	69120
-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-600
0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	-320
0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	-162
-20	-160.41	-70	0	0	0	0	0	0	1	0

(*) $-320 / -1 = 320$, menor cociente positivo

Una vez convertido en 1 el elemento de pivote, multiplicándolo por su inverso, se multiplica el resto de los elementos por este inverso para construir el siguiente tablero simplex. El resto de filas del primer tablero simplex, serán multiplicados por la fila resultante del elemento pivote sumándole el elemento de la fila que se está convirtiendo en 0.

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso -1 en este caso y multiplicar el resto de elementos por -1

$$\begin{array}{rclcl}
 -1 & * & -1 & = & 1 \\
 -1 & * & 1 & = & -1 \\
 -1 & * & -320 & = & 320
 \end{array}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -160.41 y operar el resto de elementos de la fila

$$\begin{array}{rclclcl}
 160.41 & * & 0 & - & 20.26 & = & -20.26 \\
 160.41 & * & 1 & - & 160.41 & = & 0 \\
 160.41 & * & 0 & - & 69.63 & = & -69.63 \\
 160.41 & * & -1 & + & 0 & = & -160.41 \\
 160.41 & * & 0 & + & 1 & = & 1 \\
 160.41 & * & 320 & + & 0 & = & 51,331.20
 \end{array}$$

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Segundo tablero simplex

X_1	X_2	X_1	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
15	0	15	1	0	0	0	15	0	0	64,320
13	0	78	0	1	0	0	68	0	0	47,360
38	0	65	0	0	1	0	50	0	0	53,120
-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	- 600
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	320
0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	- 162
-20.26	0	69.63	0	0	0	0	-160.41	0	1	51,331.20

EP*
CP

(*) $- 162 / - 1 = 162$, menor cociente positivo

Una vez establecida la columna y el elemento pivote, nuevamente se realizan los pasos del tablero simplex anterior para obtener el siguiente tablero simplex.

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso -1 en este caso y multiplicar el resto de elementos por -1

$$\begin{array}{rcl}
 -1 & * & -1 = 1 \\
 -1 & * & 1 = -1 \\
 -1 & * & -162 = 162
 \end{array}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -69.63 y operar el resto de elementos de la fila

69.63	*	0	-	20.26	=	-20.26
69.63	*	0	+	0	=	0
69.63	*	1	-	69.63	=	0
69.63	*	0	-	160.41	=	-160.41
69.63	*	-1	+	0	=	-69.63
69.63	*	0	+	1	=	1
69.63	*	162	+	51331.20	=	62611.26

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Tercer tablero simplex

	X_1	X_2	X_3	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
	15	0	0	1	0	0	0	15	15	0	61,890
	13	0	0	0	1	0	0	68	78	0	34,724
	38	0	0	0	0	1	0	50	65	0	42,590
	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	- 600
	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	320
	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	162
	-20.26	0	0	0	0	0	0	-160.41	-69.63	1	62,611.26

EP*

CP

(*) $- 600 / - 1 = 600$, menor cociente positivo.

Una vez establecida la columna y el elemento pivote, nuevamente se realizan los pasos del tablero simplex anterior para obtener el siguiente tablero simplex.

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso -1 en este caso y multiplicar el resto de elementos por -1

$$\begin{array}{rclcl}
 -1 & * & -1 & = & 1 \\
 -1 & * & 1 & = & -1 \\
 -1 & * & -600 & = & 600
 \end{array}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -20.26 y operar el resto de elementos de la fila

$$\begin{array}{rclclcl}
 20.26 & * & 1 & - & 20.26 & = & 0 \\
 20.26 & * & 0 & + & 0 & = & 0 \\
 20.26 & * & 0 & + & 0 & = & 0 \\
 20.26 & * & -1 & + & 0 & = & -20.26 \\
 20.26 & * & 0 & - & 160.41 & = & -160.41 \\
 20.26 & * & 0 & - & 69.63 & = & -69.63 \\
 20.26 & * & 0 & + & 1 & = & 1 \\
 20.26 & * & 600 & + & 62611.26 & = & 74767.26
 \end{array}$$

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Cuarto tablero simplex

X_1	X_2	X_3	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
0	0	0	1	0	0	15	15	15	0	52,890
0	0	0	0	1	0	13	68	78	0	26,924
0	0	0	0	0	1	38	50	65	0	19,790
1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	600
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	320
0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	162
0	0	0	0	0	0	-20.26	-160.41	-69.63	1	74,767.26

EP*

CP

(*) $19790 / 50 = 395.80$, menor cociente positivo.

Una vez establecida la columna y el elemento pivote, nuevamente se realizan los pasos del tablero simplex anterior para obtener el siguiente tablero simplex.

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso $1/50$ en este caso y multiplicar el resto de elementos por $1/50$

$$\begin{aligned}
 1/50 & * & 1 & = & 1/50 \\
 1/50 & * & 38 & = & 19/25 \\
 1/50 & * & 65 & = & 13/10 \\
 1/50 & * & 0 & = & 0 \\
 1/50 & * & 19790 & = & 1979/5
 \end{aligned}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -160.41 y operar el resto de elementos de la fila

160.41	*	1	-	160.41	=	0
160.41	*	0	+	0	=	0
160.41	*	0	+	0	=	0
160.41	*	0	+	0	=	0
160.41	*	1/2	+	0	=	80.21
160.41	*	1	-	20.26	=	140.15
160.41	*	1	-	69.63	=	90.78
160.41	*	0	+	1	=	1
160.41	*	337	+	74767.26	=	128825.43

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Quinto tablero simplex

X_1	X_2	X_3	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
0	0	0	1	0	-3/10	18/5	0	-9/2	0	46,953
0	0	0	0	1	34/25	-967/25	0	-52/5	0	48/5
0	0	0	0	0	1/50	19/25	1	13/10	0	1979/5
1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	600
0	1	0	0	0	1/50	19/25	0	13/10	0	715.80
0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	162
0	0	0	0	0	3.21	101.65	0	138.90	1	138,257.54

Última fila, los elementos son todos ceros o positivos

G. Solución óptima: el tablero 5 es el que da la solución óptima, dado que en el último renglón los valores son positivos o ceros. Una vez obtenida la solución óptima, se procede a dar valor a cada variable de decisión X_n y a Z , ubicando la columna de cada variable de decisión, esto se obtiene recorriendo de arriba abajo hacia la ubicación del 1, en la fila donde esta el 1, se recorre de izquierda a derecha hasta los valores de los elementos de la columna de constantes, siendo estos, los valores que le corresponden a cada variable. El 1 en su columna debe estar acompañado de ceros, de no ser así, el valor de la variable es 0.

Asignación de valor a cada variable de decisión en la solución óptima

X_1	X_2	X_3	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
0	0	0	1	0	-3/10	18/5	0	-9/2	0	46,953
0	0	0	0	1	34/25	-967/25	0	-52/5	0	48/5
0	0	0	0	0	1/50	19/25	1	13/10	0	1979/5
1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	600
0	1	0	0	0	1/50	19/25	0	13/10	0	715.80
0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	162
0	0	0	0	0	3.21	101.65	0	138.90	1	138,257.54

Valor de cada variable de decisión en solución óptima

$X_1 = 600, X_2 = 716 \text{ y } X_3 = 162$

$Z = 138,257.54$

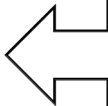
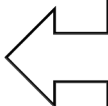
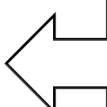
$H_1 = 46,953, h_2 = 48/5, h_3 = 0, h_4 = 0, h_5 = 1979/5, h_6 = 0, h_7 = 0, h_8 = 0, h_9=0$

3.3.2.6 Comprobar la función objetivo

Una vez determinados los valores de cada variable de decisión, el siguiente paso es comprobar los resultados obtenidos en la función objetivo

$$\begin{aligned}
 \text{FO: Max } Z &= 20.26 X_1 && + 160.41 X_2 && + 69.63 X_3 \\
 Z &= 20.26 (600) && + 160.41 (657) && + 69.63 (162) \\
 Z &= 12,156 && + 105,389.37 && + 11,280.06 \\
 Z &= 138,257.54
 \end{aligned}$$

H. Comprobar los resultados en las desigualdades restrictivas: seguido de la comprobación de la función objetivo, se comprueban los resultados obtenidos en las desigualdades restrictivas, una a una, como se muestra a continuación.

$ \begin{aligned} 1) \quad 15X_1 &+ 15X_2 &+ 15X_3 &\leq 69120 \\ 15(600) &+ 15(657) &+ 15(162) &\leq 69120 \\ 9000 &+ 9855 &+ 2430 &\leq 69120 \\ &&& 21285 &\leq 69120 \end{aligned} $	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Sí cumple</div>
$ \begin{aligned} 2) \quad 13X_1 &+ 68X_2 &+ 78 X_3 &\leq 69120 \\ 13(600) &+ 68(657) &+ 78 (162) &\leq 69120 \\ 7800 &+ 44676 &+ 12636 &\leq 69120 \\ &&& 65,112 &\leq 69120 \end{aligned} $	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Sí cumple</div>
$ \begin{aligned} 3) \quad 38X_1 &+ 50X_2 &+ 65 X_3 &\leq 69120 \\ 38(600) &+ 50(657) &+ 65 (162) &\leq 69120 \\ 22800 &+ 32850 &+ 10530 &\leq 69120 \\ &&& 66,180 &\leq 69120 \end{aligned} $	 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">Sí cumple</div>

4)	X1			\geq	600	← Sí cumple	
		600		\geq	600		
5)	X2			\geq	320	← Sí cumple	
		716		\geq	320		
6)	X3			\geq	162	← Sí cumple	
		162		\geq	162		
7)	X1,	X2	&	X3	>	0	← Sí cumple
	600,	716	&	162	>	0	

Se comprobó cada una de las restricciones, respondiendo positivamente a todas ellas. Con lo anterior se puede determinar que la solución obtenida expresa la combinación óptima para la función objetivo definida.

I. Respuesta final para la unidad de andrología: la combinación adecuada de servicios donde se obtendrá la máxima utilidad, es realizar 600 análisis de muestra de semen, 716 preparaciones de muestra de semen y 162 congelaciones de muestras de semen, lo que se traduce a una utilidad de Q.138,257.54. Con esta solución óptima, la unidad de andrología trabajará a su máxima capacidad manteniendo el buen servicio, calidad y resultados que ha tenido a la fecha.

3.3.2 Unidad de Embriología

En la unidad de embriología se aplicó el método como se muestra en seguida:

A. Identificar: se aplicó el modelo con los siguientes datos.

- **Datos:** la unidad de embriología trabajará sobre los tratamientos que realiza de alta complejidad.
- **Variables de decisión** Al igual que en la unidad de Andrología, las variables de decisión encontradas son los procesos principales y con mayor demanda del centro. En el modelo matemático, se identifican como “Xn” para identificar a la variable y al correlativo asignado. Para esta unidad son los siguientes:

X₄: Fecundación In vitro convencional (FIV)

X₅: Fecundación In vitro con ICSI (inyección intracitoplasmática de espermatozoides)

X₆: Acumulación de óvulos

Estos tres servicios y/o procesos identificados como X₄, X₅ y X₆, se utilizarán en el modelo matemático para la unidad de embriología

- **Restricciones**

En esta unidad, se cuenta con equipo especializado que es utilizado por días completos consecutivos mientras el proceso se lleva a cabo, siendo el momento crítico, cuando son extraídos los óvulos y fecundados, ya que los mismos deben ser dejados en observación para su cultivo para obtener como resultados, embriones óptimos para transferir.

Aunque el equipo tiene la capacidad de funcionar las 24 horas del día, existe un número limitado de procedimientos que pueden realizarse simultáneamente tanto para preservar la calidad del trabajo, como para que el equipo pueda trabajar en completa esterilidad, es decir, que al realizar muchos procedimientos de manera

simultánea, se corre el riesgo de no trabajarlo con la misma calidad si se realizan varios procedimientos al mismo tiempo.

Derivado que para extraer los óvulos, la paciente debe ser sometida a una preparación previa y que la misma no depende de un día al azar, si no de los ciclos de ovulación propios de cada una, es necesario que la última fase sea programada de tal manera que no se realicen al mismo tiempo las extracciones de ovocitos. El proceso de extracción, no puede realizarse de manera simultánea en este laboratorio, sino de manera consecutiva, dando tiempo a la limpieza y preparación previa que se requiere para cada uno. A continuación se detallan las restricciones de la unidad de Embriología.

- **Personal calificado para manejar la infertilidad y realizar tratamientos de reproducción humana:** El personal médico y de laboratorio disponible en la unidad, concentra sus esfuerzos en su mayoría, en estos procedimientos dada la complejidad de los mismos y la especialización que requieren. Existen puntos del proceso, en donde todo el personal de esta área se involucra, por lo que la capacidad simultánea de realización, tiene ciertas restricciones. Por ejemplo, en el momento de la extracción de óvulos, todos participan de este proceso al igual que en la transferencia de embriones, lo que en promedio consume 60 minutos. Sin embargo, el tratamiento completo en el laboratorio tiene una duración promedio de 72 horas en una fecundación In Vitro convencional con embriones cultivados hasta el día 3. Un embriólogo, puede participar en un tratamiento, inclusive 2 en un día, dado que realiza todo el proceso de preparación previa, fecundación, decumulación, entre otros.

- **Equipo especializado de alta tecnología:** Además de requerir ciertos procesos en el área de andrología, el equipo disponible tiene cierta capacidad de operación para mantener la integridad del tratamiento, en congruencia con el tamaño de las instalaciones con las que cuenta el centro.
- **Área física del laboratorio:** La unidad de embriología, tiene asignadas sus propias instalaciones, pero debido a lo extenso del tratamiento en cuestión de utilización de las instalaciones y la capacidad del personal, se tiene restricción al momento de programar los tratamientos en agenda de forma simultánea, es decir que cada tratamiento se realiza individualmente en ciertos puntos como la extracción de óvulos, fecundación o inyección de espermatozoides y la transferencia de embriones, y en forma simultánea en otros puntos como por ejemplo el cultivo y observación de embriones.
- **Demanda mínima esperada:** Para contar con los insumos en calidades óptimas, es necesario conocer de forma histórica y proyectada, la demanda de estos servicios y la capacidad de atención. Contemplar la demanda, ayudará a adquirir los insumos necesarios en el tiempo prudencial, dado el corto tiempo de vida que tienen los materiales químicos, para evitar el desperdicio de los mismos.

En los tratamientos de alta complejidad, la toma de tiempo es vital para obtener los resultados clínicos óptimos y lograr mantener el estándar de calidad del servicio.

- B. Forma del signo:** Las restricciones que condicionan la buena ejecución de los tratamientos, muestran el límite de capacidad de los diferentes departamentos y unidades en los tratamientos, debiendo no excederse

en la utilización los mismos. Por lo cual, su intervención debe ser menor o igual a la cantidad asignada o disponible para la realización de los análisis o procedimientos, el signo a utilizar es \leq .

- C. **Planteamiento del problema:** En los siguientes apartados, se presenta la información necesaria para el planteamiento del problema:

Datos

Objetivo: Maximizar utilidades

Variables de decisión

Procedimientos:

- **Fecundación In Vitro convencional (X_4)**
- **Fecundación In Vitro con ICSI (X_5)**
- **Acumulación de óvulos (X_6)**

Restricciones (anual): De acuerdo a los cuadros números 13, 26 y 28, las restricciones del departamento de embriología son las siguientes:

- 1) El quirófano tiene asignado un tiempo de 9,000 minutos para el proceso de extracción de óvulos. Esto debido a que las extracciones de óvulos se programan entre las 7:30 a 9:00 horas o 10:00 horas como máximo del día, por el tiempo que se debe intercalar entre la punción folicular, el proceso de fecundación y los horarios de observación posterior. Adicionalmente, se maneja un promedio de 2 procesos por día.
- 2) El tiempo asignado para encamamiento es de 50,000 minutos, ya que por ser un hospital de día, todos los tratamientos son ambulatorios y estos procedimientos se realizan durante la mañana. El tiempo adicional es ocupado para otros departamentos de la organización.

- 3) La unidad de embriología, cuenta con un tiempo límite de 756,000 minutos para realizar los procesos. Esto se debe a que en su mayoría, el trabajo de andrología se realiza entre las 12:00 a 14:00 horas, por los horarios manejados en las áreas enumeradas anteriormente.
- 4) Se espera una demanda mínima de 90 procesos de Fecundación In Vitro convencional para el siguiente año.
- 5) El número esperado de procesos de Fecundación In Vitro con inyección intracitoplasmática de espermatozoides es de 25.
- 6) La acumulación de óvulos tiene una demanda de 16 procesos como mínimo.

La tabla 21 muestra el resumen del planteamiento el problema.

Cuadro 31
Distribución de la disponibilidad vrs utilización de las unidades del laboratorio en los tratamientos de alta complejidad

Proceso / servicio	Tiempo en minutos			Disponibilidad/ demanda mínima esperada (anual)
	FIV X ₄	ICSI X ₅	Acumulación X ₆	
Quirófano	35	35	35	9,000*
Encamamiento	240	240	30	50,000*
Embriología	4320	4410	180	756,000*
Fecundación in vitro convencional	1			90**
Fecundación in vitro con ICSI		1		25**
Acumulación de óvulos			1	16**
Utilidad	2764.64	1843.43	799.72	

* Disponibilidad anual en minutos

** Demanda mínima esperada en unidades

Fuente: elaboración propia con información del cuadro 13 (utilización y disponibilidad, página 68) cuadro 26 (proyección de la demanda, página 87).

Año 2017.

La utilidad por unidad de cada proceso es de Q.2,764.62 para la Fecundación In Vitro convencional (FIV), Q.1,843.43 la Fecundación In Vitro con inyección intracitoplasmática de espermatozoides (ICSI) y Q.899.72 para la acumulación de óvulos, como lo muestra el cuadro no. 28.

D. Aplicación del método matemático simplex: En el estudio de la unidad de Embriología, se determinaron tres variables, nueve restricciones y una función objetivo de maximización, datos importantes y necesarios para aplicar el modelo matemático simplex, planteando el problema como se muestra a continuación:

Cuadro 32
Planteamiento visual del problema en los tratamientos de alta complejidad (unidad de embriología)

Departamento	Tiempo en minutos			Forma del Signo	Disponibilidad
	FIV X_1	ICSI X_2	Congelación X_3		
Quirófano	35	35	35	\leq	9000
Encamamiento	240	240	30	\leq	50000
Embriología	4320	4410	180	\leq	756000
FIV	1			\geq	90
ICSI		1		\geq	25
Acumulación			1	\geq	16
Utilidad	2764.62	1843.43	899.72		

Fuente: elaboración propia, con información del cuadro 13 (utilización y disponibilidad, página 68) cuadro 26 (proyección de la demanda, página 87) y cuadro 28 (utilidad). Año 2017.

Una vez planteado el problema, se procede a la construcción del modelo matemático.

- E. Definir función objetivo en forma matemática:** se maximizará la función objetivo en correspondencia con el objetivo organizacional de optimización de recursos, buscando conocer la combinación óptima de servicios que maximicen la utilidad para cada variable aprovechando los recursos sin exceder su capacidad. Esta se define como sigue a continuación:

Función objetivo

$$\text{FO: Max } 2,764.62X_4 + 1,843.43X_5 + 899.72X_6$$

Igualar la función objetivo a cero

$$\text{FO: MAX} = -764.62X_4 - 1,843.43X_5 - 899.72X_6 + h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + Z = 0$$

- **Definir las restricciones en forma de desigualdades o inecuaciones:** En la descripción del problema, se obtuvieron las restricciones y se detallaron de forma matemática. El signo \leq expresa que las restricciones deben ser igual o menor a cada uno de los recursos estudiados. Estas restricciones deben ser comprobadas con las respuestas que arroje el modelo, si las mismas se cumplen, se ha obtenido la combinación óptima y se ha cumplido con la función objetivo.

Restricciones

1)	$35X_4 + 35X_5 + 35X_6$	\leq	9000	←	Tiempo utilización de quirófano
2)	$240X_4 + 240X_5 + 30X_6$	\leq	50000	←	Disponibilidad de encamamiento
3)	$4320X_4 + 4410X_5 + 180X_6$	\leq	756000	←	Tiempo procesos embriología
4)	X_4	\geq	90	←	Demanda mínima FIV
5)	X_5	\geq	25	←	Demanda mínima ICSI
6)	X_6	\geq	16	←	Demanda mínima acumulación
7)	$X_4, X_5 \text{ \& } X_6$	$>$	0		

Signo homogéneo para todas las restricciones

El resultado debe ser mayor a cero

El signo homogéneo es la característica fundamental que deben tener las restricciones. En este caso las restricciones 7, 8 y 9 no son homogéneas, se procede a homogenizarlas:

$$\begin{array}{rcl}
 7) X_4 & \geq & 90 \quad (-1) \\
 -X_4 & \leq & -90
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 8) X_5 & \geq & 25 \quad (-1) \\
 -X_5 & \leq & -25
 \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl}
 9) X_6 & \geq & 16 \quad (-1) \\
 -X_6 & \leq & -16
 \end{array}$$

- **Convertir las desigualdades en igualdades:** al definir las restricciones en forma de desigualdades, se procede a convertir a igualdades agregando variables de holgura, una para cada desigualdad como se muestra a continuación.

$$\begin{array}{rclcl}
1) & 35X_4 + & 35X_5 + & 35X_6 & + h_1 & = & 9000 \\
2) & 240X_4 + & 240X_5 + & 30 X_6 & + h_2 & = & 50000 \\
3) & 4320X_4 + & 4410X_5 + & 180 X_6 & + h_3 & = & 756000 \\
4) & - X_4 & & & + h_4 & = & - 90 \\
5) & & - X_5 & & + h_5 & = & - 25 \\
6) & & & - X_6 & + h_6 & = & - 16
\end{array}$$

F. Construir tableros simplex: una vez determinados los datos y las variables de holgura, se inicia el desarrollo del modelo matemático.

- **Estructura de la tabla inicial simplex:** todas las variables del problema aparecen en las columnas y en las filas, los coeficientes de las igualdades obtenidas anteriormente, cada restricción en una fila y la última fila tendrá los coeficientes de la función objetivo, tal como se muestra a continuación:

Estructura del primer tablero simplex con variables de holgura

Variables de decisión			Variables de holgura						Restricciones	
X4	X5	X6	h₁	h₂	h₃	h₄	h₅	h₆	Z	C
35	35	35	1	0	0	0	0	0	0	9000
240	240	30	0	1	0	0	0	0	0	50000
4320	4410	180	0	0	1	0	0	0	0	756000
- 1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-90
0	- 1	0	0	0	0	0	1	0	0	-25
0	0	- 1	0	0	0	0	0	1	0	-16
-2764.62	-1843.42	-899.72	0	0	0	0	0	0	1	0

Función objetivo con signo negativo

La tabla anterior es denominada tabla simplex y es la base de la solución factible. Al desarrollar el método simplex, se reemplaza una solución básica factible (SBF) por otra, la variable de salida, es la variable que se remueve de la base y la que reemplaza se denomina variable de entrada. La variable de holgura es aquella que absorbe la diferencia entre el lado izquierdo y derecho al convertir una desigualdad de la forma \leq en igualdad.

El siguiente paso es establecer la columna pivote (CP), tomando de X_4 , X_5 o X_6 , en su última fila, el elemento con menor valor. Luego en esta columna, el elemento pivote (EP), será el de menor cociente positivo. Estos pasos se repiten en todos los tableros simplex. El primero tablero simplex, quedaría de la siguiente manera:

Primer tablero simplex

X_4	X_5	X_6	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
35	35	35	1	0	0	0	0	0	0	9000
240	240	30	0	1	0	0	0	0	0	50000
4320	4410	180	0	0	1	0	0	0	0	756000
-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	- 90
0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	- 25
0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	- 16
-2764.62	-1843.43	-899.72	0	0	0	0	0	0	1	0



(*) $- 90 / - 1 = 90$, menor cociente positivo.

Una vez convertido en 1 el elemento pivote, multiplicándolo por su inverso, se multiplica el resto de los elementos por este inverso para construir el siguiente tablero simplex. El resto de filas del primer tablero simplex, serán multiplicados por la fila resultante del elemento pivote sumándole el elemento de la fila que se está convirtiendo en 0.

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso -1 en este caso y multiplicar el resto de elementos de la fila por -1.

$$\begin{array}{rclclcl}
 -1 & * & -1 & = & 1 \\
 -1 & * & 1 & = & -1 \\
 -1 & * & -90 & = & 90
 \end{array}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -2,764.62 y operar el resto de elementos de la fila

$$\begin{array}{rclclcl}
 2764.62 & * & 1 & - & -2,764.62 & = & 0 \\
 2764.62 & * & 0 & - & -1843.43 & = & -1843.43 \\
 2764.62 & * & 0 & + & -899.72 & = & -899.72 \\
 2764.62 & * & -1 & + & 0 & = & -2,764.62 \\
 2764.62 & * & 0 & + & 1 & = & 1 \\
 2764.62 & * & 90 & + & 0 & = & 248,815.80
 \end{array}$$

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Segundo tablero simplex

X ₄	X ₅	X ₆	h ₁	h ₂	h ₃	h ₄	h ₅	h ₆	Z	C
0	35	35	1	0	0	35	0	0	0	5850
0	240	30	0	1	0	240	0	0	0	28400
0	4410	180	0	0	1	4320	0	0	0	367200
1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	90
0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	- 25
0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	- 16
0	-1843.43	-899.72	0	0	0	-2764.62	0	0	1	248815.80

EP*

CP

(*) $- 25 / - 1 = 25$, menor cociente positivo.

Se repiten los pasos del primer tablero simplex, convirtiendo en 1 el elemento pivote multiplicando por su inverso tanto este elemento como el resto de los elementos y convirtiendo en cero el resto de filas para construir el tercer tablero simplex,

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso -1 en este caso y multiplicar el resto de elementos de la fila por -1.

$$\begin{array}{rclcl}
 -1 & * & -1 & = & 1 \\
 -1 & * & 1 & = & -1 \\
 -1 & * & -25 & = & 25
 \end{array}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -1,843.43 y operar el resto de elementos de la fila

1843.43	*	0	+	0	=	0
1843.43	*	1	-	-1843.43	=	0
1843.43	*	0	+	-899.72	=	-899.72
1843.43	*	0	-	-2764.62	=	-2,764.62
1843.43	*	0	+	-1	=	-1,843.43
1843.43	*	25	+	248,815.80	=	294,901.55

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Tercer tablero simplex

X4	X5	X6	h ₃	h ₄	h ₅	h ₇	h ₈	h ₉	Z	C
0	0	35	1	0	0	35	35	0	0	4975
0	0	30	0	1	0	240	240	0	0	22400
0	0	180	0	0	1	4320	4410	0	0	256950
1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	90
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	25
0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	-16
0	0	-899.72	0	0	0	-2764.62	-1843.43	0	1	294901.55

EP*

CP

(*) $-16 / -1 = 16$, menor cociente positivo.

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso -1 en este caso y multiplicar el resto de elementos de la fila por -1.

$$\begin{array}{rclclcl} -1 & * & -1 & = & 1 \\ -1 & * & 1 & = & -1 \\ -1 & * & -16 & = & 16 \end{array}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -899.72 y operar el resto de elementos de la fila

$$\begin{array}{rclclcl} 899.72 & * & 0 & + & 0 & = & 0 \\ 899.72 & * & 0 & + & 0 & = & 0 \\ 899.72 & * & 1 & + & -899.72 & = & 0 \\ 899.72 & * & 0 & - & -2764.62 & = & -2,764.62 \\ 899.72 & * & 0 & + & -1843.43 & = & -1,843.43 \\ 899.72 & * & -1 & + & 0 & = & -899.72 \\ 899.72 & * & 0 & + & 1 & = & 1 \\ 899.72 & * & 16 & + & 294,901.55 & = & 309,297.07 \end{array}$$

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Cuarto tablero simplex

X_4	X_5	X_6	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
0	0	0	1	0	0	35	35	35	0	4415
0	0	0	0	1	0	240	240	30	0	21920
0	0	0	0	0	1	4320	4410	180	0	254070
1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	90
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	25
0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	16
0	0	0	0	0	0	-2764.62	-1843.43	-899.72	1	309297.07

EP*

CP

(*) $254,070 / 4,320 = 58.81$, menor cociente positivo.

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso $1/4320$ en este caso y multiplicar el resto de elementos de la fila por $1/4320$

$$\begin{aligned}
 1/4320 & * & 4320 & = & 1 \\
 1/4320 & * & 1 & = & 1/4320 \\
 1/4320 & * & 4410 & = & 49/48 \\
 1/4320 & * & 180 & = & 1/24 \\
 1/4320 & * & 254070 & = & 941/16
 \end{aligned}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -2764.62 y operar el resto de elementos de la fila

2764.62	*	0	+	0	=	0
2764.62	*	0	+	0	=	0
2764.62	*	0	+	0	=	0
2764.62	*	1/4320	+	0	=	0.64
2764.62	*	1	-	2764.62	=	0
2764.62	*	49/48	-	1843.43	=	978.79
2764.62	*	1/24	-	899.72	=	-784.53
2764.64	*	0	+	1	=	0
2764.62	*	941/16	+	309297.07	=	471891.28

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Quinto tablero simplex

X_4	X_5	X_6	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
0	0	0	1	0	-7/864	0	-35/48	825/24	0	37705/16
0	0	0	0	1	-1/18	0	-5	20	0	7805
0	0	0	0	0	1/4320	1	49/48	1/24	0	941/16
1	0	0	0	0	1/4320	0	49/48	1/24	0	2381/16
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	25
0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	16
0	0	0	0	0	0.64	0	978.79	-784.53	1	471891.28

EP*

CP

(*) $37705/16 / 805/24 = 70.26$, menor cociente positivo.

Convertir en 1 el elemento pivote por su inverso 805/24 en este caso y multiplicar el resto de elementos de la fila por 805/24

$$\begin{array}{rclcl}
 805/24 & * & -7/864 & = & -1/4140 \\
 805/24 & * & -35/48 & = & -1/46 \\
 805/24 & * & 1 & = & 24/805 \\
 805/24 & * & 37705/16 & = & 22623/322
 \end{array}$$

Nota: cuando los elementos tienen valor igual a cero, solo se copian los valores de los elementos de la fila.

Convertir en 0 el -784.53 y operar el resto de elementos de la fila

$$\begin{array}{rclcl}
 784.53 & * & 1 & - & -784.53 & = & 0 \\
 784.53 & * & 24/805 & + & 0 & = & 23.39 \\
 784.53 & * & 0 & + & 0 & = & 0 \\
 784.53 & * & -1/4140 & - & 0.64 & = & 0.45 \\
 784.53 & * & 0 & + & 0 & = & 0 \\
 784.53 & * & -1/46 & + & 978.79 & = & 961.74 \\
 784.53 & * & 1 & - & 784.53 & = & 0 \\
 784.53 & * & 0 & - & 1 & = & 1 \\
 784.53 & * & 22623/322 & + & 471891.28 & = & 527010.60
 \end{array}$$

Este paso se repite con el resto de elementos de la columna pivote hasta completar el siguiente tablero simplex.

Sexto tablero simplex

X_4	X_5	X_6	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
0	0	0	24/805	0	-1/4140	0	1/46	1	0	22623/322
0	0	0	-16076/805	1	-7/138	0	-105/23	0	0	-746295
0	0	0	-1/805	0	1/4140	1	0	0	0	55.80
1	0	0	-1/805	0	1/4140	0	47/46	0	0	145.86
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	25
0	0	1	24/805	0	-1/4140	0	-1/46	0	0	86.26
0	0	0	23.39	0	0.45	0	961.74	0	1	527010.60



Último renglón con ceros o positivos

- G. Solución óptima:** el tablero 6 es el que da la solución óptima, dado que en el último renglón los valores son positivos o ceros. Una vez obtenida la solución óptima, se procede a dar valor a cada variable de decisión X_n y a Z, ubicando la columna de cada variable de decisión, esto se obtiene recorriendo de arriba abajo hacia la ubicación del 1, en la fila donde esta el 1, se recorre de izquierda a derecha hasta los valores de los elementos de la columna de constantes, siendo estos, los valores que le corresponden a cada variable. El 1 en su columna debe estar acompañado de ceros, de no ser así, el valor de la variable es 0.

Asignación de valor a cada variable de decisión en la solución óptima

X_4	X_5	X_6	h_1	h_2	h_3	h_4	h_5	h_6	Z	C
0	0	0	24/805	0	-1/4140	0	1/46	1	0	22623/322
0	0	0	-16076/805	1	-7/138	0	-105/23	0	0	-746295
0	0	0	-1/805	0	1/4140	1	0	0	0	55.80
1	0	0	-1/805	0	1/4140	0	47/46	0	0	145.88
0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	25
0	0	1	24/805	0	-1/4140	0	-1/46	0	0	86.26
0	0	0	23.39	0	0.45	0	961.74	0	1	527010.60

Valor de cada variable de decisión en solución óptima

$X_4 = 145.86 \Rightarrow 146$, $X_5 = 25$ y $X_6 = 86.26 \Rightarrow 86$ $Z = 527,010.60$

$H_1 = 0$, $h_2 = 0$, $h_3 = 1,222$, $h_4 = 7,129$, $h_5 = 0$, $h_6 = 167$, $h_7 = 57.40$, $h_8 = 0$,
 $h_9=0$

H. Comprobar la función objetivo: una vez determinados los valores de cada variable de decisión, el siguiente paso es comprobar los resultados obtenidos en la función objetivo.

FO: Max $Z = 2764.62 X_4$ + $1843.43 X_5$ + $899.72 X_6$
 $Z = 2764.62 (146) + 1843.43 (25)$ + $899.72 (86)$
 $Z = 403,634.52$ + 46085.75 + $77,607.84$
 $Z = 527,328$

I. **Comprobar en las desigualdades:** seguido de la comprobación de la función objetivo, se comprueban los resultados obtenidos en las desigualdades restrictivas, una a una, como se muestra a continuación.

$$\begin{array}{rclcl}
 1) & 35X_4 & + & 35X_5 & + & 35X_6 & \leq & 9000 \\
 & 35(145.88) & + & 35(25) & + & 35(86.25) & \leq & 9000 \\
 & 5105.80 & + & 875 & + & 3018.75 & \leq & 9000 \\
 & & & & & 8999.55 & \leq & 9000
 \end{array}$$

← Sí cumple

$$\begin{array}{rclcl}
 2) & 240X_4 & + & 240X_5 & + & 30X_6 & \leq & 50000 \\
 & 240(145.88) & + & 240(25) & + & 30(86.25) & \leq & 50000 \\
 & 35011.2 & + & 6000 & + & 2587.50 & \leq & 50000 \\
 & & & & & 43598.70 & \leq & 50000
 \end{array}$$

← Sí cumple

$$\begin{array}{rclcl}
 3) & 4320X_4 & + & 4410X_5 & + & 180X_6 & \leq & 756000 \\
 & 4320(145.88) & + & 4410(25) & + & 180(86.25) & \leq & 756000 \\
 & 630,020.60 & + & 110250 & + & 15525 & \leq & 756000 \\
 & & & & & 755795.60 & \leq & 756000
 \end{array}$$

← Sí cumple

$$\begin{array}{rclcl}
 4) & X_4 & & & \geq & 90 \\
 & & & 145.88 & \geq & 90
 \end{array}$$

← Sí cumple

$$\begin{array}{rclcl}
 5) & & & X_5 & \geq & 25 \\
 & & & 25 & \geq & 25
 \end{array}$$

← Sí cumple

$$\begin{array}{rclcl}
 6) & & & X_6 & \geq & 16 \\
 & & & 86.25 & \geq & 16
 \end{array}$$

← Sí cumple

7) X1,	X2	&	X3	>	0	← Sí cumple
145.88,	25	&	86.25	>	0	

Se comprobó cada una de las restricciones, respondiendo positivamente a todas ellas. Con lo anterior se puede determinar que la solución obtenida expresa la combinación óptima para la función objetivo definida.

J. Respuesta final para la unidad de embriología: luego de los cálculos matemáticos realizados, se determinó que deben elaborarse 146 procesos de Fecundación In Vitro convencional, 25 procesos de Fecundación In Vitro con inyección citoplasmática de espermatozoides y 86 proceso de acumulación de óvulos, para obtener una utilidad máxima de Q. 527,010.60 anualmente. Lo anterior se ha logrado demostrar en el sexto tablero simplex y comprobado, tanto en la función objetivo como en las desigualdades restrictivas.

3.4 Análisis y discusión de los resultados

De acuerdo a los resultados obtenidos en ambas unidades del laboratorio especializado objeto del presente estudio, se puede determinar lo siguiente:

3.4.1 Interpretación de los resultados

Al optimizar todos los recursos del departamento de laboratorio, se puede obtener una ganancia total de Q.627,048.61 anuales, distribuidos de la siguiente manera:

Cuadro 33
Resultados de aplicación del método simplex
utilidad por unidad de laboratorio
(cifras expresadas en quetzales)

Unidad	Utilidad estimada
Andrología	138,257.54
Embriología	527,010.60
Utilidad total	665,268.14

Fuente: Elaboración propia con resultados de aplicación del método simplex, páginas 112 y 133.

3.4.2 Presentación de escenarios de solución

Tomando en cuenta la demanda esperada para el año 2017, se ha realizado un comparativo entre la utilidad estimada de acuerdo a la demanda, y la utilidad esperada de acuerdo a la capacidad de cada unidad, presentándose como sigue a continuación

Cuadro 34
Comparativo escenarios de utilidad satisfaciendo la demanda mínima esperada y utilidad aprovechando al máximo los recursos disponibles
(Cifras expresadas en quetzales)

Unidad	Utilidad esperada por demanda mínima esperada	Utilidad esperada por capacidad optimizada 2017	Diferencia
Andrología	74, 767.26	138,257.54	63,490.31
Embriología	309,297. 07	527,010.60	217,713.53
Total	384,064.33	665,268.14	281,203.84

Fuente: Elaboración propia con información del cuadro 30. Año 2017.

De acuerdo a lo anterior, el utilizar cada unidad de laboratorio optimizando su capacidad brindará una utilidad adicional de Q.281,203.84, lo que equivale al 73% más al año sobre la utilidad obtenida con la demanda mínima esperada.

3.4.3 Propuesta de solución óptima de acuerdo a escenarios

Tomando en cuenta los escenarios anteriormente descritos, se propone optimizar los recursos para lograr la utilidad total de Q.665,268.14 anualmente.

3.4.4 Control y seguimiento de respuesta óptima

Para mantener la solución óptima, se recomienda monitorear los costos de la materia prima, a fin de manejar un margen aceptable de +/- 5%, que es la merma considerada en la aplicación del costo estandar. Se recomienda la utilización de controles de precios como se muestra en el cuadro 18.

Adicionalmente se recomienda mantener un monitoreo de los tiempos de utilización de cada uno de los elementos que conforman los procesos y servicios para aprovechar al máximo la disponibilidad de cada uno de los recursos con los que cuenta la organización.

CONCLUSIONES

Luego del trabajo de investigación realizado y la aplicación del modelo matemático determinístico simplex, se concluyó lo siguiente:

1. La empresa objeto de estudio no cuenta con un instrumento técnico, que permita el aprovechamiento de los procedimientos que realiza, para enfocar energías en aquellos que brinden el máximo beneficio y mantengan los altos estándares de calidad que tienen y no resten importancia a los resultados médicos que han obtenido.
2. La utilidad individual de los servicios analizados, obtenida en el presente trabajo por medio de la aplicación del costo estándar a cada uno de ellos, no era del conocimiento de la organización, lo que dificultaba la toma de decisiones en cuanto a la importancia de los procesos. Con los resultados obtenidos, las decisiones pueden tomarse basándose en la importancia y el beneficio que cada servicio aporta a la organización, sin descuidar la adecuada operación que asigne a cada procedimiento el tiempo y esfuerzo requerido de acuerdo a su participación en los objetivos generales de la empresa.
3. El presente trabajo no contempla los elementos administrativos dentro de las restricciones, derivado que la demanda actual no requiere utilización relevante de tiempo de estas áreas y las mismas no impactan significativamente en los procesos realizados en el departamento de Laboratorio, sino han sido incluidos dentro del costo indirecto como gastos administrativos.
4. Cada una de las unidades tiene un potencial alto para generar utilidad, lo que muestra que los recursos no han sido aprovechados al máximo ya que

actualmente se encuentran en el punto de equilibrio, lo que ha restado beneficio a la organización.

5. Los resultados obtenidos con el desarrollo del modelo matemático simplex, mostraron la combinación adecuada de servicios que aprovechan al máximo los recursos que tienen y no sobrecargan de trabajo a las áreas que intervienen en los procedimientos que realiza el laboratorio.

6. La aplicación de la programación lineal como herramienta central, es de suma importancia para la toma de decisiones en la empresa objeto de estudio, ya que esta al aplicarse con la información completa y actualizada, mostrará siempre el máximo beneficio que puede esperarse y además, la combinación de servicios que optimizarán la utilización de los equipos y personal con que cuentan.

RECOMENDACIONES

Tomando en cuenta las conclusiones a las que se ha llegado en el apartado anterior, se recomienda tomar nota de lo siguiente:

1. Mantener la utilización del método matemático simplex para optimizar los recursos y planificar las estrategias de ventas, con la finalidad de aprovechar al máximo los recursos y no sobrecargar a los distintos departamentos de la organización. En los anexos III y IV, se muestra la utilización del complemento Solver de Excel para facilitar la aplicación y en el anexo V, una breve explicación sobre el uso de la misma.
2. Practicar un monitoreo periódico de tiempos y procesos de cada una de las unidades del laboratorio, con la finalidad de tener información actualizada para la toma de decisiones, ya que con la aplicación del modelo matemático presentado, la utilidad con la demanda mínima esperada se ubicaría en Q.384,064.33, sobre lo que sería el punto de equilibrio, evitando el desperdicio de tiempo o materia prima.
3. Aplicar el modelo matemático determinístico simplex en el departamento de Laboratorio para obtener una utilidad total de Q.665,268.14 como sumatoria del beneficio individual que se obtendría de cada unidad: Q.138,257.54 para la unidad de andrología y Q.527,010.60 para la unidad de embriología, resultado que dará mucho beneficio a la organización, dado que no solamente se aprovechará al máximo los recursos, sino que se mantendrá la calidad y buen servicio que les caracteriza.
3. Aprovechar la herramienta matemática, para monitorear todos los servicios y mantener siempre la combinación óptima de aquellos que son de beneficio

para la empresa y que aprovechan al máximo el equipo y capital humano con que se cuenta.

4. Establecer aquellos servicios adicionales, que forman parte de cada una de las unidades del laboratorio, que pueden contribuir de manera significativa a la obtención de utilidades si son reorganizados y aprovechadas sus bondades,
5. Implementar herramientas de control de materia prima y mantenimiento de equipo, para mantener el nivel de servicio óptimo en la combinación obtenida en la aplicación del modelo matemático, para lograr un estándar de calidad y buen servicio y al mismo tiempo generar la máxima utilidad esperada de manera sostenida y creando registros históricos sobre los avances del departamento, que sean tomados en cuenta en decisiones futuras.
6. Poner en práctica otras herramientas matemáticas de control y seguimiento, que apoyen la gestión administrativa con el objetivo de identificar otras oportunidades de incrementar valor en la organización.
7. Manejar los elementos administrativos dentro de los gastos de la organización, y aplicarlos en la proporción en la que estos intervienen en el departamento de Laboratorio, por no intervenir de manera directa en cada proceso sino de manera complementaria.

GLOSARIO

1. **Andrólogo:** Especialista en el estudio de las las enfermedades relacionadas con los órganos masculinos.
2. **Anestesiólogo:** Médico que se especializa en anestesia.
3. **Capacitación espermática o seminal:** es el proceso que tiene el espermatozoide luego de la eyaculación, permitiendo que estos al ser liberados, puedan adquirir la capacidad de fecundar el óvulo.
4. **Cigoto:** Ovocito fecundado, primera fase del desarrollo del embrión.
5. **Criobanco:** es someter unas células, tejidos u órganos al proceso de enfriamiento a temperaturas muy bajas o congelarlas para almacenarlos y utilizarlos en la posteridad.
6. **Criopreservación:** conservación de óvulos o espermatozoides a través del procedimiento de congelación a muy baja temperatura, normalmente en nitrógeno líquido a 196°C.
7. **Citoplasma:** es la región de una célula que se encuentra entre la membrana exterior y el núcleo.
8. **Desvitrificación:** es una técnica que permite la recuperación de lo vitrificado anteriormente, en las mismas condiciones en las que fue congelado, sin importar el tiempo que los mismos fueron almacenados.
9. **Embriólogo:** Especialista en la formación y desarrollo del embrión.

10. **Embrión:** es la primera etapa del desarrollo humano hasta las 8 semanas de gestación, la unión del espermatozoide con el óvulo.
11. **Endocrinología:** es una especialidad de la medicina, que se encarga del estudio de la anatomía humana y las alteraciones de las glándulas endócrinas.
12. **Endometriosis:** Se requiere al crecimiento de tejido endometrial fuera del útero.
13. **Gameto:** célula reproductiva (espermatozoides en hombres u óvulos en mujeres), que al unirse forman un nuevo individuo.
14. **Genética:** Es una parte de la biología que se encarga del estudio de los genes y la transmisión de los genes hereditarios.
15. **Genetista:** Médico especialista en genética.
16. **Ginecólogo:** Médico especializado en el aparato genital de la mujer.
17. **Infertilidad:** Se considera infertilidad cuando una pareja luego de pasado como mínimo un año de tener relaciones sexuales sin protección, no logra concebir un embarazo.
18. **Inyección intracitoplasmática de espermatozoides:** es una técnica de reproducción asistida, por medio de la cual se realiza una microinyección de un espermatozoide completo en un ovocito para facilitar la fecundación.

19. **Inmunología:** Estudia la respuesta del organismo frente a la presencia de organismo, antígenos o toxinas.
20. **Oligozoospermia:** Baja concentración espermática en el eyaculado.
21. **Patología:** Se encarga del estudio de los tejidos y los trastornos anatómicos.
22. **Pellet:** es la concentración de espermatozoides durante la realización de la técnica swim up, el centrifugado.
23. **Punción folicular:** recuperación de óvulos extrayendo por medio de aspiración vía vaginal.
24. **Urólogo:** Médico especialista que se encarga del estudio del aparto genital masculino y las enfermedades relacionadas con el aparato urinario.
25. **Vitrificación:** es una técnica de preservación de fertilidad, con alta velocidad de enfriamiento que evita la formación de cristales de hielo, que conservan el estado de las células o tejidos sometidos a este procedimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Botella, José Llusía. **Esterilidad e infertilidad humana, recientes avances.** Única Edición. España 1999. 357p.
2. Cárdenas, Miguel Ángel. **La ingeniería de sistemas, filosofía y técnicas.** México. Editorial Limusa. 1978. 267p.
3. Chase, Richard B. **Administración de operaciones.** 13ª Edición. 2010. 809p.
4. Giraldo, Juan Luis. **Buscando un bebé. Como enfrentar los obstáculos de la infertilidad.** Editorial Vergara. Año 2018. 223p.
5. Guzmán Aragón, Gloria Lucía. **Métodos determinísticos.** 5ª Edición. Bogotá, Colombia, Universidad abierta a distancia, 2010. 141p.
6. Hernández Ayuso, Ma. Del Carmen. **Introducción al programación lineal.** 1ª Edición. México 2007. 201p.
7. Hurtado, Luini Leonardo. **Modelamiento teórico y modelamiento empírico de procesos.** Agosto 2006. Revista scientia e thecnica. 103p.
8. Institutos de tecnología avanzada. **Tipos de modelos matemáticos.** Única Edición. España. Gobierno de España, 2015. 4p.
9. López Casuso, Rafael. **Programación lineal y decisiones económicas.** 3ª Edición. 1993. 171p.

10. Martínez Bencardino, Ciro. Estadística y muestreo. 13ª Edición. Bogotá Colombia. 2012. 877p.
11. Render, B y Heizer J. **Principios de Administración de Operaciones**. 7ª Edición. México. Prentice Hall, 2001. 834p.
12. Render, Barry, Stair Ralph y Hanna Michael. **Métodos cuantitativos para los negocios**. 11ª Edición. México. Pearson Prentice Hall, 2012. 508p.
13. Render, Barry; Stair, Ralph M., Michael, Hanna. **Métodos cuantitativos para los negocios**. 11º Edición. 2012. 645p.
14. RF Garay, S Ríos. **Investigación operativa: Programación lineal y publicaciones**. Editorial Ramón Areces. 1996, 215p.
15. Rodríguez Rosales, Raúl. **La optimización, métodos y problemas**. Única edición. 2007. 79p.
16. Rodríguez Santiago, Mildred. **Factores determinantes en la gestión de Recursos Humanos, en empresas de servicios que incorporan de manera sistemática nuevas tecnologías**. Revista pensamiento y gestión no. 24. España. Enero-junio de 2008. 35p.
17. Salazar Guerrero, Alejandro. **Matemáticas avanzadas para la ingeniería en sistemas**. Única Edición. México D.F. Centro cultural Ítaca, 2014. 25p.
18. Sarmiento Vásquez, Alfonso. **Una comparación cualitativa de la dinámica de sistemas, la simulación de eventos discretos y la simulación basada en agentes**. Revista ingeniería Industrial no. 35.

- Enero-diciembre 2017. Universidad de la Sabana. Bogotá, Colombia. 52p.
19. Suárez, Miguel A. **Historia de la probabilidad de la estadística (v).** Editorial AHEPE. 2011. 391p.
20. Velasco, García. **Cuadernos de Medicina Reproductiva.** Edición 17. Madrid España. ANNAR Nuevo Siglo, 2011. 91p.
21. Vélez, Mario César; Montoya, Jose Alejandro. **Meta heurísticos, una alternativa para la solución de problemas combinatorios en la administración de operaciones.** Revista EIA escuela de ingeniería de Antioquia No.8. julio-diciembre 2007. 157p.

E-grafía

22. ARCPedraja. **Apuntes sobre el método simplex de programación Lineal.** Consultado en octubre 2018. Recuperado de: <http://cicia.uprrp.edu/publicaciones/docentes/metodosimplexdePL.pdf>
23. Arshem, Hossein. **Modelos Deterministas: El método simplex clásico.** (en línea). 1996. Consultado el 15 de mayo de 2017. Recuperado de: <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640s/spanishd.htm#rintro>.
24. Arshem, Hossein. **Modelos Deterministas: Optimización Lineal** (en línea). 1996 Consultado el 15 de mayo de 2017. Recuperado de: <http://home.ubalt.edu/ntsbarsh/opre640s/spanishd.htm#rintro>.
25. **Artículos educativos sobre el método simplex y programación lineal.** Año 2015. Recuperado de: <https://www.metodosimplex.com/analisis-de-sensibilidad-o-postoptimal-metodo-simplex/>

26. **Asociación española de fertilidad.** Consultado el 15 de mayo de 2017. Disponible en: <http://www.sefertilidad.net/docs/biblioteca/recomendaciones/indicacionesFIV.pdf>
27. Centro de Reproducción Humana (en línea). Consultado el 30 de mayo de 2017. Disponible en: www.cer.com.gt/tratamientos/
28. Cuesta, Yolanda. **Tecnología “Solver en Excel”.** Actualizado 15 de febrero de 2017. Disponible en: <https://www.aboutspanol.com/solver-en-excel-1791023>
29. Durán, Guillermo. **Definición de modelo matemático.** 2002. Recuperado de: diccionario.sensagent.com/modelo%20matematico/es.
30. Fula, Hernán. **Métodos numéricos. 2010.** Recuperado de: www.slideshare.net/hernanfula/diapositivas-3-temas-fula/english.
31. Gestar, centro de fertilidad. Consultado el 30 de septiembre de 2017. Recuperado de: <https://gestar.com.gt/acerca-de-nosotros/>.
32. Gestar, centro de fertilidad. Consultado el 30 de septiembre de 2017. Recuperado de: <https://gestar.com.gt/tratamientos/>
33. Gestión de operaciones 2011. **Programación Lineal.** Recuperado de: <https://www.gestiondeoperaciones.net/quienes-somos/>
34. Instituto Bernabéu. **Diccionario ginecológico:** medicina reproductiva (en línea). Consultado el 30 de mayo de 2017. Disponible en : <https://www.institutobernabeu.com/es/diccionario-ginecologico>.

35. Instituto de Reproducción, CEFER. **¿En qué consiste congelar el esperma? Dudas sobre tratamientos.** Año 2018. Recuperado de: <https://www.institutocefer.com/blog/en-que-consiste-congelar-el-esperma-y-cual-es-su-precio/>
36. Instituto Marques (en línea). Consultado el 30 de mayo de 2017. Recuperado de: <https://institutomarques.com/reproduccion-asistida/tratamientos/fecundacion-in-vitro/transferencia-de-embriones/>
37. Instituto Médico Integral – IMI- Sanchez, Martha, **ginecóloga**. Consultado el 20 de septiembre de 2017. Recuperado de: <http://www.latribunadetoledo.es/noticiasficha.aspx>.
38. Instituto Nacional de Estadística – INE- 2012. **Informe estadístico 2012.** Recuperado de: <https://www.ine.gob.gt/sistema/uploads/2014/02/26/5eTCcFIHErnaNVeUmm3iabXHaKgXtw0C.pdf>
39. Instituto Valenciano de Fertilidad –IVI- (en línea). Consultado el 20 de septiembre de 2017. Recuperado de: <https://www.ivi.es>.
40. Instituto Valenciano de Fertilidad. **Glosario IVI**; IVI (en línea). Consultado el 30 de mayo de 2017. Recuperado de: www.notasdeprensa.io/es_ES/recurso/40625/
41. **Investigación de operaciones.** Consultado en octubre 2018. Recuperado de: <http://www.investigaciondeoperaciones.net/index.html>.
42. Luna, Florencia. **Revista de bioética y derecho** no. 28, publicada 28 de mayo de 2013. Recuperado de: <http://scielo.isciii.es/pdf/bioetica/n28/articulo3.pdf>

43. Office support. **Definir y resolver un problema con office**. Consultado en 2017. Recuperado de: <https://support.office.com/es-es/article/definir-y-resolver-un-problema-con-solver-5d1a388f-079d-43ac-a7eb-f63e45925040>
44. OMS. **Infertilidad**. Año 2018. Recuperado de: <http://www.who.int/topics/infertility/es/>
45. ORG, Reproducción asistida. Revista de reproducción asistida. Año 2015. Recuperado de: <https://www.reproduccionasistida.org/analisis-de-la-concentracion-de-espermatozoides/>
46. PHPsimplex. **Teoría de programación lineal; Método simplex** (en línea). 2017. Recuperado de: http://www.phpsimplex.com/teoria_metodo_simplex.htm#msimplex
47. PHPsimplex. **Teoría del método simplex. 2006**. Recuperado de: www.phpsimplex.com/teoria_metodo_simplex.html.
48. Rodríguez, Barona; Sánchez, Carlos; Pinto, Laura; Molinares Cristian; Prins Jovanna; Benitez Jorge. **Investigación de operaciones**. Consultado en octubre 2018. Recuperado de: <https://invdoperaciones.wordpress.com/definicion/>
49. Salazar, Bryan. **Ingeniería industrial online**. Consultado en octubre 2018. Recuperado de: <https://www.ingenieriaindustrialonline.com>.
50. UROMED: **Infertilidad del varón**. Consultado en febrero 2018. Recuperado de: <http://www.uromed.com.gt/infertilidad-en-el-varon-masculina-tratamiento/>

ANEXOS

ANEXO 1

PRESUPUESTO UNIDAD DE ANDROLOGÍA (CIFRAS EXPRESADAS EN QUETZALES)

Datos Generales de la unidad

Alquiler mensual	7800
Detalle del metraje	m2 por área
Laboratorio	11.02
Matrimonio	2
Área de Inseminación	5.87
Metraje Total del área utilizada	18.89

Horas Hombre	176
Horas fábrica	176

PRESUPUESTO PARA ELABORACIÓN DE ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SEMEN

PRESUPUESTO DE MATERIA PRIMA PARA ANÁLISIS DE MUESTRA DE SEMEN

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRODUCCIÓN	SUB-TOTAL	DESP. 10%	MERMA 5%	TOTAL REQ.	INDICE AJUSTADO	PRECIO UNITARIO	C.M.P.	PRODUCCIÓN	C.U.M.P.
Jeringa de 3cc, 5cc o 10cc	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	0.71	30.86		
lira de papel PH	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	3.35	144.70		
Puntas de 20ul	2	36	72	7.2	0.36	86.4	2.4	0.67	57.86		
Vaso plastico con etiqueta	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	3.39	146.45		
1 Hoja impresa más 1 sobre	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	1.25	54.00		
Portaobjetos	2	36	72	7.2	0.36	86.4	2.4	0.02	1.85		
Cubreobjetos	2	36	72	7.2	0.36	86.4	2.4	0.03	2.55		
ml de colorante VitaStain	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	0.87	37.48		
Tubo Eppendorf de 15ml	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	0.44	19.20		
MI de Etanol	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	0.33	14.05		
MI de eosina	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	0.87	37.48		
ml de Azul de metileno	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	0.87	37.48		
Par de guantes de nitrilo	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	6.00	259.37		
Kimwipe	1	36	36	3.6	0.18	43.2	1.2	0.18	7.71		
									851.0273	36	23.64

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA

ACTIVIDAD	INDICE UNITARIO		H.H. PRODUCCIÓN	H.H. TIEMPO REQ.	H. DISP. H.H.	SAL.* OBRE	TOTAL A PAGAR		PRESTACIONES M.O.	PRODUCCIÓN C.U.M.O
	0.68	0.33					36.00	1317.86		
a. Incubación, recuperación valoración (A+B+B1)	0.68	0.33	36.00	24.60	176.00	53.57	1317.86	551.26	1869.12	
b. Extincido, tinción y lectura morfológica(C - F)	0.33	0.04	36.00	12.00	176.00	53.57	642.86	268.91	911.76	
c. Preparación e Impresión de Informe	0.04	1.06	36.00	1.50	176.00	53.57	80.36	33.61	113.97	
TOTAL							2041.07	853.78	2894.85	36

Salario 1	3000
Salario 2	6000
Total salarios	9000

TIEMPO POR ACTIVIDAD

ACTIVIDAD	T. MIN	T. MAX	T. PROMEDIO
A	5	15	10
B	25	35	30
B1	1	1	1
C	2	2	2
D	3	3	3
E	5	10	7.5
F	2	3	2.5
F	3	5	4
G	2	3	2.5
TOTAL			62.5

PRESUPUESTO DE COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCIÓN	COSTOS INDIRECTOS		
	FIJO	VARIABLE	TOTAL CI
Comisiones		48.21	48.21
Depreciación de equipos específico para el proceso	513.89		513.89
Alquiler (20% del costo del laboratorio)	1,560.00		1,560.00
Depreciación mobiliario	152.71		152.71
TOTAL		2,274.81	2,274.81
		36	63.19

Equipos para espermograma	Depreciación
Pipeta Eppendor 2-20ul	6583.33
Pipeta Thermo 10-100 ul	6583.33
Incubadora Premiere	2000.00
cámara Makhler	2000.00
Microscopio de Contraste de fases	5666.67
Vasos copling	8000.00
Total	30833.33
Depreciación del 5% (tiempo de vida estimado)	6166.67

PRESUPUESTO DE MATERIA PRIMA PARA UNA PREPARACIÓN DE MUESTRA DE SEMEN (SWIM UP)

PRESUPUESTO DE MATERIA PRIMA

CÉDULA DE COMPRAS	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD UNITARIA	PRODUCCIÓN	SUB-TOTAL	DESP. 10%	MERMA 5%	TOTAL REQ.	AJUSTADO	INDICE	PRECIO UNITARIO	C.M.P.	PRODUCCIÓN	C.U.M.P.
	Jeringa de 3cc, 5cc o 10cc	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	0.71	9.43		
	litra de papel PH	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	3.35	44.21		
	Puntas de 20ul	2	11	22	2.2	0.11	26.40	26.40	2.40	0.67	17.68		
	Vaso plastico con etiqueta	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	3.39	44.75		
	Hoja impresa más 1 sobre	2	11	22	2.2	0.11	26.40	26.40	2.40	1.25	33.00		
	Portaobjetos	2	11	22	2.2	0.11	26.40	26.40	2.40	0.02	0.57		
	Cubreobjetos	2	11	22	2.2	0.11	26.40	26.40	2.40	0.03	0.78		
	ml de colorante VitaStain	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	0.87	11.45		
	Tubo Eppendorff de 15ml	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	0.44	5.87		
	ml de Etanol	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	0.33	4.29		
	ml de eosina	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	0.87	11.45		
	ml de Azul de metileno	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	0.87	11.45		
	Par de guantes de nitrilo	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	6.00	79.25		
	Kimwipe	2	11	22	2.2	0.11	26.40	26.40	2.40	0.18	4.71		
	Tubo Falcon de fondo cónico de 15ml	3	11	33	3.3	0.17	39.60	39.60	3.60	5.71	226.28		
	ml de Sperm Wash **	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	7.09	93.60		
	ml de Sperm 100	5.4	11	59.4	5.94	0.30	71.28	71.28	6.48	16.44	1172.15		
	Pipeta de vidrio	2	11	22	2.2	0.11	26.40	26.40	2.40	16.44	434.13		
	Pipeta de plastico con bulbo**	0.2	11	2.2	0.22	0.01	2.64	2.64	0.24	16.44	43.41		
	Sperm Buffer	2.6	11	28.6	2.86	0.14	34.32	34.32	3.12	4.98	170.86		
	Punta micropipeta azul	4	11	44	4.4	0.22	52.80	52.80	4.80	0.88	46.22		
	Punta micropipeta amarilla	4	11	44	4.4	0.22	52.80	52.80	4.80	0.64	34.03		
	Cánula de inseminación	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	118.00	1557.60		
	Metanol	0.02	11	0.22	0.022	0.00	0.26	0.26	0.02	53.57	14.14		
	Pipeta serológica de 10ml	1	11	11	1.1	0.06	13.20	13.20	1.20	1.05	13.88		
	** De uso ocasional, promedio de uso										4085.20	11.00	371.38

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA

ACTIVIDAD	INDICE		H.H		H. DISP.		TOTAL A		PRODUCCIÓN	C.U.M.O
	UNITARIO	PRODUCCIÓN	TIEMPO REQ.	H.H	SAL. * OBRE	PAGAR	PRESTACIONES	TOTAL M.O.		
Preparación tubo, Recuperación, centrifugado	0.29	11.00	3.21	176.00	53.57	171.88	71.90	243.77		
Preparación Swim, swim up, preparación	0.75	11.00	8.25	176.00	53.57	441.96	184.87	626.84		
Recuperación, Morfología	0.29	11.00	3.21	176.00	53.57	171.87	71.90	243.77		
Carga de cánula	0.13	11.00	1.38	176.00	53.57	73.66	30.81	104.47		
	1.46		16.04			785.71	328.66	1,114.38	11.00	101.31

Salarios 1	3,000.00
Salario 2	6,000.00
Total salarios	9,000.00

TIEMPO POR ACTIVIDAD

ACTIVIDAD	T. MIN	T. MAX	T. PROMEDIO
A. Preparación tubo, Recuperación, centrifugado	10	25	17.50
B. Preparación Swim, swim up, preparación	40	50	45.00
C. Recuperación, Morfología	15	20	17.50
D. Carga de cánula	5	10	7.50
TOTAL			87.50

PRESUPUESTO DE COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCIÓN	FIJO	VARIABLE	TOTAL CI	PRODUCCIÓN	C.U.C.I
Comisiones		132	132.00		
Depreciación de equipos específico para el proceso	1,024.70		1,024.70		
Alquiler (60% del costo del laboratorio)	4,680.00		4,680.00		
Depreciación mobiliario y equipo	458.13		458.13		
Total	6,162.83	132	6,294.83	11	572.26

Mobiliario y equipo	Depreciación
Escritorio y aéreo	15178.57
Televisión	2678.57
Computadora	9821.43
Impresora	535.71
mesas	357.14
Refrigerador	982.14
Teléfono	142.86
Dispensador de Jabón	133.93
Camilla	9821.43
Lámpara	4464.29
Carrito	714.29
Espejo	89.29
Sillón	892.86
Total	45812.50
Depreciación del 5% (tiempo de vida estimado)	9162.50

Equipo de laboratorio para Swim up (equipo directo)	Depreciación
Pipeta Eppendor 2-20ul	11850
Pipeta Thermo 10-100 ul	11850
Incubadora Premiere	3600
cámara Makhler	3600
Microscopio de Contraste de fases	10200
Centrífuga	16116
Pipetador Automático	4266
Total	61482
Depreciación anual	12296.4

PRESUPUESTO PARA CONGELACIÓN DE UNA MUESTRA DE SEMEN

CEDULA DE COMPRAS

DESCRIPCIÓN	CANT. UNIT	PRODUCCIÓN	SUB-TOTAL	DESP. 10%	MERMA 5%	TOTAL REQ.	INDICE AJUSTADO	PRECIO UNITARIO	C.M.P.	PRODUCCIÓN	C.U.M.P.
Jeringa de 3cc, 5cc o 10cc	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	0.71	2.57		
tira de papel PH	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	3.35	12.06		
Puntas de 20ul	2	3	6	0.60	0.03	7.20	2.40	0.67	4.82		
Vaso plastico con etiqueta	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	3.39	12.20		
Hoja impresa más 1 sobre	2	6	6	0.60	0.03	7.20	2.40	1.25	9.00		
Portaobjetos	2	3	6	0.60	0.03	7.20	2.40	0.02	0.15		
Cubreobjetos	2	3	6	0.60	0.03	7.20	2.40	0.03	0.21		
ml de colorante VitaStain	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	3.41	12.29		
Tubo Eppendorf de 15ml	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	0.44	1.60		
Ml de Etanol	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	0.33	1.17		
Ml de eosina	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	0.87	3.12		
ml de Azul de metileno	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	0.87	3.12		
Par de guantes de nitrilo	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	6.00	21.61		
Kimwipe	2	3	6	0.60	0.03	7.20	2.40	0.18	1.29		
Tubo Falcon de fondo cónico de 15ml	3	3	9	0.90	0.05	10.80	3.60	5.71	61.71		
Ml de Sperm Wash **	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	7.09	25.53		
Ml de Sperm 100	5.4	3	16.2	1.62	0.08	19.44	6.48	16.44	319.68		
Pipeta de vidrio	2	3	6	0.60	0.03	7.20	2.40	16.44	118.40		
Pipeta de plastico con bulbo**	0.2	3	0.6	0.06	0.00	0.72	0.24	16.44	11.84		
Sperm Buffer	2.6	3	7.8	0.78	0.04	9.36	3.12	4.98	46.60		
Punta micropipeta azul	4	3	12	1.20	0.06	14.40	4.80	0.88	12.61		
Punta micropipeta amarilla	4	3	12	1.20	0.06	14.40	4.80	0.64	9.28		
Metanol	0.02	3	0.06	0.01	0.00	0.07	0.02	53.57	3.86		
Ml de crioprotector (Sperm Freezing)	0.35	3	1.05	0.11	0.01	1.26	0.42	46.40	58.47		
Libras de CO2 Gaseoso	0.5	3	1.5	0.15	0.01	1.80	0.60	5.36	9.64		
Litro de Nitrógeno líquido	2	3	6	0.60	0.03	7.20	2.40	39.29	282.86		
Criotubo de 2.0 ml	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	2.12	7.63		
Tubo con fondo redondo de 3.0 ml	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	5.58	20.09		
Gorro quirúrgico	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	1.00	3.60		
Guantes de nitrilo	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	1.43	5.14		
Marcador para rotular	0.05	3	0.15	0.02	0.00	0.18	0.06	1.43	0.26		
Pipeta serológica de 10ml	1	3	3	0.30	0.02	3.60	1.20	1.05	3.78		
** De uso ocasional, promedio de uso									1086.20	3.00	362.07

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA

ACTIVIDAD	INDICE UNITARIO		PRODUCCIÓN	H.H TIEMPO REQ.	H. DISPONIBLES		SAL. * OBRE	TOTAL A PAGAR	PRESTACIONES	TOTAL M.O.	PRODUCCIÓN	C.U.M.O
	0.37	1.1			176	176						
Preparación (A+B+C)	0.37	1.1	3	3	176	176	53.57	58.93	24.65	83.58		
Vitrificación (D+E+F+G)	0.98	2.925	3	3	176	176	53.57	156.70	65.55	222.24		
Elaboración de pastillas (H)	0.71	2.125	3	3	176	176	53.57	113.84	47.62	161.46		
Almacenaje (I)	0.17	0.5	3	3	176	176	53.57	26.79	11.20	37.99		
MANO DE OBRA	2.22	6.65						329.46	137.81	505.27		3
Salarios 1	3000											
Salario 2	6000											
Total salarios	9000											

TIEMPO POR ACTIVIDAD

ACTIVIDAD	T. MIN	T. MAX	T. PROMEDIO
A. Licuefacción	5	7	6
B. Recuento	5	7	6
C. Preparación de tubos	10	10	10
D. Centrifugar y preparar morfología	20	25	22.5
E. Recuento y lectura de morfología	10	10	10
F. Lavado	5	7	6
G. Recuento e incubación	20	20	20
H. Crioprotector y rotulación, preparación de pastillas	40	45	42.5
I. Almacenar en criobanco	10	10	10
TOTAL			133

PRESUPUESTO DE COSTOS INDIRECTOS

DESCRIPCIÓN	FIJO	VARIABLE	TOTAL CI	PRODUCCIÓN	C.U.C.I
Comisiones		24.11	24.11	24.11	
Depreciación de equipos	491.00		491.00	491.00	
Alquiler (15% del costo del laboratorio)	1,170.00		1,170.00	1,170.00	
Depreciación mobiliario y equipo	114.53		114.53	114.53	
Total	1,775.53	24.11	1,799.64	1,799.64	599.88

Equipo de laboratorio para congelación		Depreciación	Mobiliario y equipo		Depreciación
Pipeta Eppendor 2-20ul		3950.00	Escritorio y aéreo		15178.57
Pipeta Thermo 10-100 ul		3950.00	Televisión		2678.57
Incubadora Premiere		1200.00	Computadora		9821.43
cámara Makhler		1200.00	Impresora		535.71
Microscopio de Contraste de fases		3400.00	mesas		357.14
Centrífuga		5372.00	Refrigerador		982.14
Pipetador Automático		1422.00	Teléfono		142.86
Molde de madera con paleta		178.57	Dispensador de Jabón		133.93
Molde de yeso		312.50	Camilla		9821.43
Hielera de 1.0 litros		44.64	Lámpara		4464.29
Embudo de plástico pequeño		170.31	Carrito		714.29
Embudo de plástico grande		245.14	Espejo		89.29
Pinzas metálicas finas		258.93	Sillón		892.86
Tanque de Nitrógeno líquido con canister y rejillas		4464.29	Total		45812.50
Pipeta Thermo 100-1000 ul		3291.67			
Total		29460.05			
Depreciación anual		5892.01			
			Depreciación del 5% (tiempo de vida estimado)		9162.50

ANEXO 2

PRESUPUESTO UNIDAD DE EMBRIOLOGÍA

(CIFRAS EXPRESADAS EN DÓLARES DE LOS ESTADOS UNIDOS DE AMÉRICA)

DATOS GENERALES DEL LABORATORIO
Alquiler mensual del laboratorio

4450.00

DATOS GENERALES DE LA MANO DE OBRA

Costo mano de obra
Punción 100.00
FIV + cultivo 250.00
Transferencia y Hatching Asistido 50.00
ICSI 100.00
Congelación 100.00
Descongelación 100.00

PRESUPUESTO PARA FECUNDACIÓN IN VITRO COMPLETA MÁS ICSI

DESCRIPCIÓN	CANT.	UNIT	PRODUCCIÓN	SUB-TOTAL	DESP. 5%	MERMIA 1%	TOTAL REQ.	AJUSTADO	INDICE	PRECIO	C.M.P.	
											UNITARIO	PRODUCCIÓN
A. Punción / Recuperación de óvulos												
Tubo Falcon fondo redondo de 10-15ml	1.00		4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	0.57	2.51		
Placas Petri de 100ml	6.00		4.00	24.00	1.20	0.01	26.40	6.60	0.23	6.08		
Frasco estéril con tapadera roja y etiqueta	1.50		4.00	6.00	0.30	0.00	6.60	1.65	0.13	0.86		
Jeringas de 1ml	2.00		4.00	8.00	0.40	0.00	8.80	2.20	0.15	1.31		
Guantes estériles sin talco	1.00		4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	2.20	9.68		
Aguja para aspiración folicular	1.00		4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	29.60	130.24		
Pipeta Pasteur de borosilicato	3.00		4.00	12.00	0.60	0.01	13.20	3.30	7.01	92.52		
MI de HTF con 10% de albumina	10.00		4.00	40.00	2.00	0.02	44.00	11.00	0.97	42.77		
Ampollas de albumina (250 ml HTF)	2.00		4.00	8.00	0.40	0.00	8.80	2.20	0.81	7.15		
MI de HTF más albumina (6 ml por placa)	36.00		4.00	144.00	7.20	0.07	158.40	39.60	1.07	168.79		
MI de aceite Lifeguard Oil (3 ml por placa)	18.00		4.00	72.00	3.60	0.04	79.20	19.80	0.63	49.89		
ML de Life Global Total WHSA (0.5 ml por placa)	3.00		4.00	12.00	0.60	0.01	13.20	3.30	2.92	38.56		
ML aceite lifeguard Oil (3.5 ml por placa)	21.00		4.00	84.00	4.20	0.04	92.40	23.10	0.65	60.10		
Puntas para micropipeta P-10000	2.00		4.00	8.00	0.40	0.00	8.80	2.20	0.09	0.79		
Puntas para micropipeta P-200	2.00		4.00	8.00	0.40	0.00	8.80	2.20	0.13	1.14		
Uso sala de operaciones con encamamiento	1.00		4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	59.52	261.90		
B. Decumulación												
Total										874.28	4.00	218.57
Placa Nunc de 35 mm	3.00		4.00	12.00	0.60	0.01	13.20	3.30	1.25	16.55		
Pipeta Pasteur de Borosilicato	1.00		4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	7.01	30.84		
Pipeta Stripper 135mm	1.00		4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	12.56	55.26		
MI de hyaluronidasa (0.5 por placa)	1.50		4.00	6.00	0.30	0.00	6.60	1.65	14.70	97.01		
MI de Life Global HEPES (0.5 por placa)	1.50		4.00	6.00	0.30	0.00	6.60	1.65	2.00	13.18		
MI de aceite mineral (3.5ml por placa)	10.50		4.00	42.00	2.10	0.02	46.20	11.55	0.78	35.85		
Semen capacitado (Costo de Swim Up)	1.00		4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	118.84	522.89		

C. ICSI	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	Total	771.58	4.00	192.90
Agua de ICSI	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	11.40	50.16		
Agua Holding	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	25.37	111.62		
Pipeta Pasteur de borosilicato	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	7.01	30.84		
Placa Falcon 60mm (1 por cada 6 óvulos)	2.00	4.00	4.00	8.00	0.40	0.00	8.80	2.20	0.37	3.23		
Mi de Aceite Mineral (9ml por cada placa)	18.00	4.00	72.00	4.00	3.60	0.04	79.20	19.80	0.65	51.51		
Mi de Global HEPES (0.5 por placa)	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	1.84	8.11		
Frasco de PVP	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	26.65	117.27		
D. Transferencia de embriones									372.75	4.00	4.00	93.19
Cateter para transferencia	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	35.80	157.52		
Estilete (1/20)	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	17.25	75.89		
Placas Nunc de 35mm	2.00	4.00	8.00	4.00	0.40	0.00	8.80	2.20	1.25	11.04		
Pipeta Pasteur de borosilicato	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	7.01	30.84		
Guantes esteriles sin talco	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	2.20	9.68		
Tube fondo redondo de 5ml	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	0.28	1.21		
Papel para fotos	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	0.50	2.20		
Uso sala de operaciones con encamamiento	1.00	4.00	4.00	4.00	0.20	0.00	4.40	1.10	40.00	176.00		
									Total	464.38	4.00	116.10
									Total del proceso	2482.99	4.00	620.75

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA

ACTIVIDAD	IND.	UNITARIO	PRODUCCIÓN	TOTAL A PAGAR	TOTAL PRODUCCION	PRODUCCIÓN	C.U.M.O
A. Punción / Recuperación de óvulos	1.00	4.00	100.00	400.00	400.00		
B. Decumulación / Fiv / Cultivo	1.00	4.00	250.00	1000.00	1000.00		
C. ICSI	1.00	4.00	100.00	400.00	400.00		
D. Transferencia de embriones	1.00	4.00	100.00	400.00	400.00		
			550.00	2200.00	2200.00	4.00	550.00

PRESUPUESTO DE COSTOS INDIRECTOS

Horas fábrica disponibles 600.00
Horas fábrica utilizadas en el proceso 72.00

DESCRIPCIÓN	FIJO	VARIABLE	TOTAL CI	PRODUCCIÓN	C.U.C.I
Comisiones		80.00	80.00	80.00	
Depreciación de equipo del proceso	512.57		512.57	512.57	
Alquiler	2950.00		2950.00	2950.00	
Depreciación mobiliario	31.94		31.94	31.94	
TOTAL			3574.52	4.00	893.63

EQUIPO LABORATORIO DE EMBRIOLOGÍA DEL PROCESO	
Descripción	Valor en USD
Campana de flujo laminar	15476.19
Termobloque quirófano	300.00
Termobloque laboratorio	300.00
Incubadora K-system	38000.00
Aspirador de óvulos y otros equipos	2666.67
Filtro de aire	250.00
Laser	38000.00
Gradillas reesterilizables	625.00
Mesas de acero	400.00
Refrigerador	333.33
Microscopio invertido y manejadores	26666.67
Total	123017.86
Depreciación del 10% (tiempo estimado de vida)	12301.79

Mobiliario		Valor en USD
Computadora		2500.00
Impresora		333.33
Escritorio		400.00
silla		200.00
Cortinas		400.00
Total		3833.33
Depreciación anual		766.67

3/4

PRESUPUESTO DE MATERIA PRIMA PARA CONGELACIÓN

DESCRIPCIÓN	CANT. UNIT	PRODUCCIÓN	SUB-TOTAL	DESP. 5%	MERMA 1%	TOTAL REQ.	INDICE AJUSTADO	PRECIO UNITARIO	C.M.P.	PRODUCCIÓN C.U.M.P.
Cyotop	1.00	2.00	2.00	2.00	0.10	0.00	1.10	8.00	17.60	
Pipeta Pasteur de borosilicato	1.00	2.00	2.00	2.00	0.10	0.00	1.10	7.01	15.42	
Kit de vitrificación	1.00	2.00	2.00	2.00	0.10	0.00	1.10	178.40	392.48	
Litro de nitrógeno líquido	2.00	2.00	4.00	4.00	0.20	0.00	2.20	5.33	23.47	
Rejilla	1.00	2.00	2.00	2.00	0.10	0.00	1.10	2.75	6.05	
Canister	1.00	2.00	2.00	2.00	0.10	0.00	1.10	5.50	12.10	
Banderilla	1.00	2.00	2.00	2.00	0.10	0.00	1.10	1.25	2.75	
Puntas para micropipeta p-1000	2.00	2.00	4.00	4.00	0.20	0.00	2.20	0.09	0.39	
									452.27	2.00
										226.13

PRESUPUESTO DE MANO DE OBRA

ACTIVIDAD	IND. UNITARIO	PRODUCCIÓN	TOTAL A PAGAR	TOTA PRODUCCION	PRODUCCIÓN C.U.M.O
Vitrificación	1.00	2.00	100.00	200.00	
			100.00	200.00	100.00

PRESUPUESTO DE COSTOS INDIRECTOS

Horas fábrica disponibles 600.00
 Horas fábrica utilizadas en el proceso 72.00

DESCRIPCIÓN	FIJO	VARIABLE	TOTAL CI	PRODUCCIÓN	C.U.C.I
Comisiones		10.00	22.00		
Depreciación de equipo del proceso	82.01		82.01		
Alquiler	500.00		500.00		
Depreciación mobiliario	6.39		6.30		
TOTAL			610.31	2.00	305.16

DESCRIPCIÓN	Valor en USD
Campana de flujo laminar	15476.19
Termobloque quirófano	300.00
Termobloque laboratorio	300.00
Incubadora K-system	38000.00
Aspirador de óvulos y otros equipos	2666.67
Filtro de aire	250.00
Laser	38000.00
Gradillas reesterilizable	625.00
Mesas de acero	400.00
Refrigerador	333.33
Microscopio invertido y manejadores	26666.67
Total	123017.86
Depreciación del 10% (tiempo estimado de vida)	12301.79

Mobiliario	Valor en USD
Computadora	2500.00
Impresora	333.33
Escritorio	400.00
silla	200.00
Cortinas	400.00
Total	3833.33
Depreciación anual	766.67

ANEXO 3

Solución con aplicación Solver en Excel

Unidad de Andrología

Unidad / proceso	Tiempo en minutos			Disponibilidad anual (en minutos)
	Análisis de muestra	Preparación de muestras	Congelación de semen	
Servicio al cliente	5	5	12	9000
Caja	5	5	5	8000
Toma de muestras	15	15	15	69120
Incubación	13	68	78	69120
Análisis microscópico	38	50	65	69120
Preparación informe	2	2	2	3000
Análisis (demanda esperada)	1			600
Preparación (demanda esperada)		1		320
Congelación (demanda esperada)			1	162
Utilidad	20.26	160.41	69.62	128823.81
SOLUCIÓN	600	657	162	

ANEXO 4

Solución con aplicación Solver en Excel

Unidad de Embriología

Unidad / proceso	Tiempo en minutos			Uso	Disponibilidad anual (en minutos)
	FIV X_1	ICSI X_2	Acumulación X_3		
Servicio al cliente	15	15	15	3,333	3500
Administración	45	45	45	10,000	10000
Quirófano	35	35	35	7,778	9000
Encamamiento	240	240	30	42,871	50000
Embriología	4320	4410	180	756,000	756000
Elaboración de informes	15	15	15	3,333	3500
Fecundación In Vitro	1			147	90
ICSI		1		25	25
Acumulación			1	50	16
Utilidad	2764.62	1843.43	899.72	498,423	
SOLUCIÓN	147.4033816	25	50		

Como puede observarse, se obtuvo el mismo resultado en la aplicación del método simplex, en ambos casos

ANEXO 5

Pasos para utilizar solver de excel y ejemplo de aplicación

De acuerdo al sitio Solver en español, “Solver es una herramienta de análisis que tienes en el programa Excel, aplicado sobre todo en el mundo empresarial, permite calcular el valor de una celda que depende de diversos factores o variables donde a la vez existen una serie de restricciones que han de cumplirse.

Parte I y Parte II.

Más detenidamente lo que la herramienta **Solver** de Excel realiza son los cálculos para la resolución de problemas de programación lineal, en donde a partir de una función lineal a optimizar (encontrar el máximo o mínimo) y cuyas variables están sujetas a unas restricciones expresadas como inecuaciones lineales, el fin es obtener valores óptimos bien sean máximos o mínimos.

Solver es un complemento de Excel por ello puede que no lo tenga activo en un primer momento, para tenerlo disponible basta con que sigas estos pasos:

Pasos en Excel 2007 y siguientes:

1.- Botón de Office

- · Opciones de Excel.
- · Complementos (en la parte izquierda).

2.- En la ventana que aparece, abajo en Administrar:

- · Complementos de Excel, Ir.

Nota: A veces el complemento Solver no está cargado en el programa instalado, según haya sido la configuración elegida al instalar inicialmente Excel, para activarlo se debe hacer desde el CD de instalación de Office.

Un ejemplo de problema a solucionar con Solver sería del siguiente tipo:

Una empresa fabrica dos artículos que reportan respectivamente un beneficio unitario, que es el que tratamos de maximizar, si bien la empresa ha de tener en cuenta las restricciones dadas por la cantidad de materia prima y la mano de obra disponible de forma que no es posible sobrepasar determinadas cantidades, la empresa quiere conocer la cantidad que tiene que producir de cada uno de los artículos que fabrica para lograr la maximización del beneficio.

Pues bien tras especificar los datos en la hoja de cálculo:

Los pasos para realizar un problema con Solver en Excel 2013, 2010 y 2007 son los siguientes:

- **Realizar** en la hoja de cálculo Excel el **esquema** del problema.
- Ir a la pestaña **Datos**.
- Después en el grupo de trabajo **Análisis** tendrá la herramienta Solver.
- Al pulsar sobre ella se abre una nueva ventana llamada **Parámetros de Solver** y es aquí donde debe indicar los diferentes datos.
- **Celda objetivo**, se desea lograr el máximo beneficio por eso este es el valor a maximizar.
- Hacer clic en el apartado siguiente Valor de la celda objetivo marcando la primera opción que pone Máximo.
- A continuación le pide las celdas a Cambiar o lo que es lo mismo especificar que celdas que son las variables del problema.
- Después se encuentra con la frase Sujetas a las siguientes restricciones aquí has de introducir la restricciones que han de cumplir las variables.

- Para ello pulse en el botón Agregar y vete especificando los datos necesarios.
- Ir introduciendo el resto de restricciones.
- Si se equivoca puedes Cambiar o Eliminar las restricciones pulsando sobre la que necesite y a continuación haciendo clic en el botón Cambiar... o Eliminar...
- Una vez están todos los datos informados pulsa en el botón Resolver, en esta misma pantalla arriba a la derecha, Excel empieza a resolver el problema, al encontrar la solución la muestra.
- Obtendrá la cantidad fabricada que lleva a la maximización del beneficio.
- Puedes **Aceptar** o **volver a la situación de inicio**". (Cuesta: 2017).

ANEXO 7

Punto de equilibrio anual para el departamento de Laboratorio

Producto	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆
Costos variables	25.515	383.4336	374.07	3730.075	4794.825	3110.33
Precio de venta	187.5	1205.36	1200	15277.5	17407.5	7500
Costos fijos totales	Q 964,284.00					
Proporción de la mezcla	7%	8%	3%	50%	25%	7%
Punto de equilibrio general	Q 1,307,726.44					
Punto de equilibrio por producto Unidades	417	94	35	42	19	15
Punto equilibrio ventas por unidades	Q 78,132.10	Q 113,130.26	Q 42,030.47	Q 637,884.59	Q 332,716.37	Q 115,327.37

X₁ = Análisis de muestra de semen

X₂ = Preparación de muestra de semen

X₃ = Congelación de muestra de semen por medio de píldoras

X₄ = Fecundación in vitro convencional

X₅ = Fecundación in vitro con inyección intracitoplasmática de espermatozoides

X₆ = Acumulación de óvulos