

UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO

Colegio Politécnico

**Aprovechamiento Forestal en Novopan del Ecuador S.A: Propuesta de
Mejora en el Proceso de Germinación y Desarrollo de un
Diagrama de Control Estadístico en los Viveros de Itulcachi, para
la Especie *Pinus Radiata***

Santiago Andrés González Cartagenova

Diego Guilcapi, MSc., Director de Tesis

Tesis de grado presentada como requisito
para la obtención del título de Ingeniero Industrial

Quito, noviembre del 2013

Universidad San Francisco de Quito.

Colegio Politécnico

HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS

**Aprovechamiento Forestal en Novopan del Ecuador S.A: Propuesta de
Mejora en el Proceso de Germinación y Desarrollo de un
Diagrama de Control Estadístico en los Viveros de Itulcachi, para
la Especie *Pinus Radiata***

Santiago Andrés González Cartagenova

Diego Guilcapi, MSc.
Director de Tesis y
Miembro del Comité de Tesis

.....
Firma

Ximena Córdova, PhD.
Miembro del Comité de Tesis
Decana de la Escuela de Ingeniería
Colegio de Ciencias e Ingeniería

.....
Firma

Quito, noviembre 2013

© DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

Nombre: Santiago Andrés González Cartagenova

C. I.: 1712755972

Fecha: Quito, noviembre 2013

AGRADECIMIENTOS

A mi familia por todo el esfuerzo, apoyo incondicional y valiosa formación en valores que me han brindado durante toda mi vida, y me ha permitido desarrollarme como una mejor persona.

A todos mis profesores de la universidad, cuyas lecciones fortalecieron mis conocimientos académicos y lograron transmitirme importantes virtudes de un buen profesional.

A mi director de tesis, Diego Guilcapi, quien supo guiarme adecuadamente durante el desarrollo de este proyecto, y también me brindó relevantes enseñanzas durante toda mi estadía en la universidad.

A mis amigos por su generosa amistad, y a todas las personas que permitieron que este trabajo académico fuera posible.

RESUMEN

Los Viveros de Itulcachi representan un eslabón fundamental en el aprovechamiento forestal que se maneja en Novopan del Ecuador S. A.; en esta área y a través del presente proyecto se analizó el desempeño en la etapa de germinación de las plantas. Utilizando un diseño experimental se realizó ensayos para determinar el mejor método que se puede utilizar para incrementar la emergencia¹ del *Pinus Radiata* hasta el día 21, y en función de parámetros estadísticos y económicos se determinó la mejor alternativa. La utilización del método propuesto significa ahorros estimados en \$106.056,56 dólares en VFN dentro de un período de 2 años. Finalmente se construyó un diagrama para el control estadístico de la producción de *Pinus Radiata*, en base al indicador levantado: número de plantas emergidas luego de 21 días.

¹ La emergencia de una planta es el proceso donde se evidencia un brote por encima de la superficie donde fue plantada (Fraume, 2007).

ABSTRACT

The Itulcachi nurseries represent a vital link in the forestry that is handled in Novopan del Ecuador S. A., in this area and through this project it was analyzed the performance in the germination stage of plants. Using an experimental design it was carried out tests to determine the best method that can be used to increase the emergence² of Pinus Radiata until day 21, and according statistical and economic parameters, it was determined the best alternative. The use of the proposed method means savings estimated at \$106.056,56 dollars in VFN within a period of two years. Finally it was built a statistical control chart for the production of Pinus Radiata, based on the new indicator: number of plants emerged after 21 days.

² The emergence of a plant is the process where an outbreak is evident above the surface where it was planted (Fraume, 2007).

TABLA DE CONTENIDOS

	Pág.
1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN.....	21
1.1. Introducción.....	21
1.2. Objetivos	22
1.2.1. Objetivo General	22
1.2.2. Objetivos Específicos.....	22
1.3. Antecedentes	24
1.4. Justificación.....	25
1.5. Metodología	25
1.5.1. Observación Sistemática y Definición.....	26
1.5.2. Medición	26
1.5.3. Formulación y Experimentación.....	26
1.5.4. Análisis	26
1.5.5. Exposición de Resultados.....	26
1.6. Revisión Literaria	27
2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	33
2.1. Levantamiento de Procesos.....	33
2.1.1. Lista Maestra de Procesos	33
2.1.2. Diagramas del Flujo de Procesos	33
2.1.3. Cadena de Valor	34
2.1.4. Diagrama SIPOC	34
2.2. Cadena de Suministro.....	35
2.3. Análisis Causal.....	35
2.3.1. Diagrama Ishikawa	35

2.3.2. Diagrama de Pareto.....	36
2.3.3. Árbol de Eventos.....	37
2.3.4. Diagrama de Caja y Bigote	39
2.4. Herramientas Estadísticas	39
2.4.1. Pruebas de Hipótesis.....	39
2.4.3. Análisis de Varianzas (ANOVA).....	39
2.4.3.1. Supuestos ANOVA	40
2.4.4. ANOVA; Modelo de Efectos Aleatorios.....	41
2.4.5. Modelos de Regresión	42
2.4.5.1. Coeficiente de Determinación Múltiple (R^2)	42
2.4.6. Aproximación de la Distribución de Probabilidad Binomial a la Normal	42
2.5. Diseño de Experimentos	43
2.5.1. Diseño Factorial.....	43
2.5.2. Diseño Factorial Fraccionado	44
2.5.3. Formación de Bloques	44
2.5.4. Prueba de la Diferencia Significativa Mínima de Fisher LSD.....	44
2.6. Ingeniería Económica	45
2.6.1. Tasa de Interés del Mercado <i>if</i>	45
2.6.2. Diagrama de Flujo de Efectivo.....	45
2.6.3. Indicadores Económicos de Desempeño.....	46
2.7. Control Estadístico de Procesos	46
2.7.1. Cartas de Control.....	46
2.7.1.1. Cartas de Control por Variables.....	47
2.7.1.2. Cartas de Control por Atributos	47
2.7.2. Muestreo de Aceptación	49

2.7.3. Indicadores de Capacidad	50
2.7.4 Nivel Sigma del Proceso	50
2.7.5. Función de Operación Característica (Curva OC)	50
2.7.6. Longitud promedio de la corrida (ARL)	51
2.7.7. Plan de Acción para Puntos fuera de Control	51
3. CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y COMPRENSIÓN DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS AL DPTO. DE PLANTACIONES FORESTALES	52
3.1. Descripción de la Empresa	52
3.2. Cadena de Suministro de la Empresa.....	53
3.2.1. Proveedores	54
3.2.2. Plantaciones Forestales.....	54
3.2.3. Planta Industrial	55
3.2.4. Distribución	55
3.2.5. Almacenes	55
3.2.6. Clientes	56
3.2.7. Flujo de Información	56
3.3. Funcionamiento del Departamento de Plantaciones Forestales	56
3.3.1. Producción de Plantas	59
3.3.2. Establecimiento de Plantaciones	60
3.3.3. Mantenimiento y Manejo de Plantaciones	61
3.4. Detalle de los Procesos en los Viveros de Itulcachi	62
4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL; VIVEROS DE ITULCACHI	65
4.1. Situación Actual de los Viveros de Itulcachi	65
4.1.1. Pedidos	65
4.1.2. Germinación	65

4.1.3. Cultivo.....	67
4.1.4. Aclimatación	67
4.1.5. Despacho.....	67
4.2. Análisis Causal en los Viveros de Itulcachi	68
4.2.1. Árbol de Eventos; Mortalidad de Plantas en Viveros de Itulcachi	69
4.2.2. Diagrama Causa y Efecto; Bajo Porcentaje de Emergencia	70
4.3. Indicadores de Desempeño Utilizados en los Viveros de Itulcachi Actualmente .	71
4.3.1. Indicador Semillas Utilizadas en siembras.....	71
4.3.2. Indicador Porcentaje de Emergencia en 21 Días.....	72
4.3.3. Indicador Crecimiento durante los dos primeros meses	77
5. CAPÍTULO V: OPTIMIZACIÓN EN LA ETAPA DE GERMINACIÓN.....	78
5.1. Identificación del Alcance y Detalle del Problema.....	78
5.1.1. Respuesta a los 4W, 1H	82
5.2. Selección de la variable de respuesta.....	83
5.3. Elección de los factores, los niveles y los rangos	83
5.3.1. Factores Constantes y no Manipulables	84
5.3.1.1. Infraestructura.....	85
5.3.1.2. Personal	85
5.3.1.3. Riego	85
5.3.1.4. Recipientes de Germinación.....	86
5.3.1.5. Aprovisionamiento de Semillas.....	86
5.3.2. Factores Variables y Manipulables	86
5.3.2.1. Posición del Bancal en los Invernaderos	86
5.3.2.2. Sustrato	89
5.3.2.3. Esterilización del sustrato	90

5.3.2.4. Tratamiento Semillas.....	91
5.3.2.5. Utilización de Biocontroladores (Trichoderma)	91
5.3.3. Factores del Diseño Experimental	91
5.5. Elección del Diseño Experimental.....	92
5.6. Realización del Experimento.....	93
5.7. Análisis Estadístico de los Datos	94
5.7.1. Análisis de los Supuestos del ANOVA para el Modelo Propuesto	94
5.7.2. ANOVA para el Modelo Propuesto	95
5.7.3. Análisis de Efectos Principales y por Interacción de Factores	97
5.7.4. Análisis de Comparación de Medias.....	99
5.7.5. Elaboración del Modelo de Regresión	103
5.7.6. Mejores Combinaciones del Diseño Experimental.....	107
6. CAPÍTULO VI: ANALÍISIS ECONÓMICO DE LOS MÉTODOS SELECCIONADOS.	109
6.1. Métodos Seleccionados para el Análisis Económico	109
6.2. Metodología Escogida del Análisis Económico.....	110
6.3. Estimación de Ingresos y Egresos	110
6.3.1. Egresos Fijos para Todos los Métodos.....	111
6.3.2. Ingresos y Egresos Variables a Cada Método.....	112
6.4. Determinación de la tasa de descuento.	116
6.5. Diagramas de Flujo de Efectivo para los Distintos Escenarios	117
6.6. Indicadores Económicos de Desempeño.....	119
6.7. Selección del Mejor Escenario Respecto a Resultados Económicos.....	120
7. CAPÍTULO VII: PUNTO DE CONTROL ESTADÍSTICO EN LA ETAPA DE POST EMERGENCIA PARA CONDICIONES ACTUALES	121
7.1. Ubicación Punto de Control e Indicador.....	121

7.2. Especificaciones del Diseño para el Diagrama de Control.....	123
7.3. Política de Muestreo	124
7.3.1. Numero de muestras a analizarse	124
7.3.2. Tamaño de muestra.....	125
7.3.3. Frecuencia de muestreo:	125
7.4. Construcción de los Diagramas de Control.....	125
7.5. Análisis del Proceso Bajo Control	129
7.5.1. Índices de Capacidad	130
7.5.2. Nivel Sigma del Proceso.....	131
7.6. Sensibilidad del Diagrama de Control	132
7.7. Plan de Acción para Puntos Fuera de Control	134
7.8. Propuesta de Implementación de Diagrama de Control.....	134
7.8.1. Consideraciones para Punto de Control Estadístico.....	135
7.8.2. Compromiso de la Organización.....	136
8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	137
8.1. Beneficios de Implementación de Propuestas	137
8.2. Conclusiones.....	137
8.3. Recomendaciones	139
BIBLIOGRAFÍA	141
ANEXOS:	147

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1: Simbología ANSI para Diagramas de Flujo de Procesos.....	33
Figura 2: Ejemplo de Flujograma.....	34
Figura 3: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa.....	36
Figura 4: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa.....	37
Figura 5: Simbología Árbol de Eventos.....	38
Figura 6: Ejemplo Árbol de Eventos.....	38
Figura 7: Cadena de suministro Novopan del Ecuador S. A.....	53
Figura 8: Macro procesos del Dpto. de Plantaciones Forestales de Novopan del Ecuador S.A.....	57
Figura 9: Flujograma Producción de Plantas en los Viveros de Itulcachi.....	59
Figura 10: Flujograma Establecimiento de Plantaciones.....	60
Figura 11: Flujograma Mantenimiento y Manejo de Plantaciones.....	61
Figura 12: Cadena de Valor Viveros de Itulcachi.....	63
Figura 13: Diagrama SIPOC en Procesos Operativos en los Viveros de Itulcachi.....	64
Figura 14: Tubetes para Viveros Forestales.....	66
Figura 15: Árbol de Eventos para la Mortalidad de Pinus Radiata en los Viveros de Itulcachi.....	69
Figura 16: Diagrama Causa-Efecto para el Bajo Porcentaje de Emergencia en Pinus Radiata luego de 21 días.....	70
Figura 17: Diagrama de Caja y Bigotes del Porcentaje de Emergencia luego de 21 días para el Pinus Radiata.....	76
Figura 18: Diagrama de Pareto de las Plantas Producidas en Viveros de Itulcachi en el 2012.....	78
Figura 19: Diagrama de Pareto de las Hectáreas disponibles para siembras en Enero-2013.....	80
Figura 20: Distribución Temporal de Precipitación de la Región de Pífo.....	81
Figura 21: Análisis de los Supuestos para el Análisis de Varianzas (% Emergencia vs. Bancales).....	88
Figura 22: Etiqueta de Clasificación de Medias Bandejas.....	93

Figura 23: Análisis de los Supuestos para el Diseño Experimental (Porcentaje de Emergencia)	95
Figura 24: Diagrama de Media Probabilidad Normal de los Efectos sobre el Porcentaje de Emergencia	96
Figura 25: Diagrama de Efectos Principales para el Diseño Experimental (Porcentaje de Emergencia luego de 21 días).....	98
Figura 26: Diagrama de Efectos por Interacción de Factores para el Diseño Experimental (Porcentaje de Emergencia luego de 21 Días)	99
Figura 27: Cubos de Respuesta del Porcentaje de Emergencia luego de 21 Días	100
Figura 28: Intervalos de Confianza 95% del Porcentaje de Emergencia para Cada Combinación	101
Figura 29: Diagrama de Dispersión de los Valores Reales y Valores Ajustados para el Porcentaje de Emergencia	106
Figura 30: Diagrama del Flujo Neto de Dinero para el Método 1	118
Figura 31: Diagrama del Flujo Neto de Dinero para el Método 6	118
Figura 32: Diagrama del Flujo Neto de Dinero para el Método 7	119
Figura 33: Diagrama p con Límites de Control de Prueba	127
Figura 34: Diagrama np con Límites de Control de Prueba	128
Figura 35: Curva de Operación Característica OC para el Diagrama np	133

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1: Metas y Actividades respecto a los objetivos específicos del proyecto.	23
Tabla 2: Lista de Plantaciones Disponibles para Siembras Enero-2013	58
Tabla 3: Lista Maestra de Procesos para el Dpto. de Plantaciones Forestales	62
Tabla 4: Siembras entre enero 2011 y enero 2013.....	72
Tabla 5: Plantas no emergidas por bandeja luego de 21 días para el Pinus Radiata.	74
Tabla 6: Porcentaje de emergencia luego de 21 días para el Pinus Radiata.	75
Tabla 7: Resultados de Minitab 16 del Análisis Estadístico para el Porcentaje de Emergencia	75
Tabla 8: Crecimiento Eucaliptus Glóbulus	77
Tabla 9: Descripción de Plantaciones Disponibles para Siembras Enero-2013	79
Tabla 10: Posibles Factores del Diseño Experimental.....	84
Tabla 11: Resultados de Minitab 16 del Análisis de Varianza (Porcentaje Emergencia vs. Bancal).....	89
Tabla 12: Factores del Diseño Experimental y Niveles.....	92
Tabla 13: Resultados de Minitab 16 del Análisis del diseño Experimental, Factores Significativos (Porcentaje Emergencia luego de 21 días)	97
Tabla 14: Resultados de la Prueba de Comparación de Medias (Porcentaje Emergencia luego de 21 días).....	103
Tabla 15: Conversión de Variables Nominales en Variables Codificadas para el Modelo de Regresión (Porcentaje Emergencia luego de 21 días)	104
Tabla 16: Resultados de Design Expert 8; Análisis del Modelo de Regresión (Porcentaje Emergencia luego de 21 días).....	105
Tabla 17: Coeficientes e Intervalos de Confianza al 95% del Modelo de Regresión ...	106
Tabla 18: Combinaciones con Mejor Porcentaje Emergencia luego de 21 días	107
Tabla 19: Métodos Seleccionados para Análisis Económico.....	109
Tabla 20: Cálculo del Costo de un Saco (0, 10 m ³) de Sustrato de E. Propia.	113
Tabla 21: Cálculo del Costo Mensual por el Tratamiento de Semillas.....	114
Tabla 22: Cálculo del Costo Mensual por el Tratamiento de Sustrato.	114
Tabla 23: Cálculo del Costo Mensual por la Utilización de Trichoderma.	115
Tabla 24: Cálculo y Resultados de los Ingresos por Mes de Despacho.	116

Tabla 25: Métodos Seleccionados para Análisis Económico.....	117
Tabla 26: Resultados de los VPN, VFN y TIR para cada Método.....	119
Tabla 27: Cálculo de los Límites de Control de Prueba para la Diagrama p y.....	126
Tabla 28: Límites Control Finales para el Diagrama p y Diagrama np.....	129
Tabla 29: Límites de Control de Especificación para el Diagrama p y Diagrama np ...	130
Tabla 30: Índices de Capacidad en la Diagrama p y Diagrama np	130
Tabla 31: Cálculo del Nivel Sigma en el Diagrama p y Diagrama np.....	132

LISTA DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1: Modelo ANOVA para un Factor.....	39
Ecuación 2: Componentes de la Varianza Modelo ANOVA.....	40
Ecuación 3: Prueba de Hipótesis ANOVA	40
Ecuación 4: Prueba de Hipótesis ANOVA para Modelo de Efectos Aleatorios.....	41
Ecuación 5: Coeficiente de Determinación Múltiple R^2 y $R^2_{ajustada}$	42
Ecuación 6: Probabilidad de que la variable p esté dentro de los límites u y v	43
Ecuación 7: Diferencia Significativa Mínima (LSD)	44
Ecuación 8: Tasa de Interés del Mercado.....	45
Ecuación 9: Modelo General de la Carta de Control de Shewart.....	47
Ecuación 10: Distribución de Probabilidad Binomial	48
Ecuación 11: Características Distribución de Probabilidad Binomial	48
Ecuación 12: Límites de Control sin un Valor Dado para la Carta p	49
Ecuación 13: Límites de Control sin un Valor Dado para la Carta np	49
Ecuación 14: Cálculo del Error tipo II; Gráfica OC para la Carta p	50
Ecuación 15: Cálculo del Error tipo II; Gráfica OC para la Carta p	51
Ecuación 16: Cálculo del Porcentaje de emergencia.....	72
Ecuación 17: Cálculo de la Diferencia Significativa Mínima (LSD)	102
Ecuación 18: Modelo de Regresión para el Porcentaje de Emergencia del Pinus Radiata Luego de 21 Días.....	105
Ecuación 19: Cálculo de Ingresos por Mes de Despacho.....	116
Ecuación 20: Transformación de tasa anual a mensual.	117
Ecuación 21: Relación Fracción Disconforme (p) y % de Emergencia	122
Ecuación 22: Indicador para la Fracción Disconforme (p)	122
Ecuación 23: Indicador para el Número de Disconformidades (D)	123
Ecuación 24: Porcentaje de la Banda de Especificaciones para el Diagrama p	131
Ecuación 25: Porcentaje de la Banda de Especificaciones para el Diagrama np	131
Ecuación 26: Probabilidad de Obtener una Muestra dentro de los Límites de Especificación	132

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Estructura Organizacional de Novopan del Ecuador S. A.	147
Anexo 2: Productos Ofrecidos por Novopan del Ecuador S. A.....	148
Anexo 3: Cadena de Suministro de Novopan del Ecuador S. A, Flujo de Productos..	149
Anexo 4: Materias Primas y Proveedores para la Planta de Itulcachi	150
Anexo 5: Proyectos con Proveedores en la Base de la Pirámide (BDP)	150
Anexo 6: Lista Maestra de Procesos en Planta de Novopan (Mena & Suarez, 2011).	152
Anexo 7: Causas y Subcausas del Bajo porcentaje de emergencia para el Pinus Radiata.	153
Anexo 8: Ubicación de las Plantaciones de Novopan a Enero-2013.....	154
Anexo 9: Combinaciones del Diseño Experimental.....	155
Anexo 10: Códigos para cada Media Bandeja de Tubetes en el Diseño Experimental.	159
Anexo 11: Recolección de Datos; Número de Plantas no Emergidas luego de 21 días de la siembra de Pinus Radiata.....	160
Anexo 12: Porcentaje de Emergencia luego de 21 días de la siembra de Pinus Radiata.	161
Anexo 13: Resultados de Minitab 16 del Análisis del diseño Experimental, Todos los Factores (Porcentaje Emergencia luego de 21 días)	162
Anexo 14: Efectos por Interacción de factores para el Diseño Experimental.	163
Anexo 15: Medias Muestrales de las Combinaciones Analizadas en el Diseño Experimental.	164
Anexo 16: Intervalos de Confianza para cada Combinación del Diseño Experimental.	165
Anexo 17: Diferencias de Medias para Prueba de Fisher (LSD).....	166
Anexo 18: Comparación de los Valores Reales y Ajustados para el Porcentaje de Emergencia del Pinus Radiata luego de 21 Días.	167
Anexo 19: Cálculo del Valor Real que la Empresa Invierte por Trabajador.....	168
Anexo 20: Estimación Ingresos y Egresos para el Método 1	168
Anexo 21: Estimación Ingresos y Egresos para el Método 6	169

Anexo 22: Estimación Ingresos y Egresos para el Método 7	170
Anexo 23: Flujo de Dinero para el Método 1	171
Anexo 24: Flujo de Dinero para el Método 6	172
Anexo 25: Flujo de Dinero para el Método 7	173
Anexo 26: Política de Muestreo para Diagrama de Control	174
Anexo 27: Números Aleatorios para Recolección de Otras Muestras.....	175
Anexo 28: Datos Recogidos para la Construcción del Diagrama de Control.	176
Anexo 29: Prueba de Normalidad de los Datos Recogidos para el Control Estadístico	177
Anexo 30: Diagrama p Con Límites de Control Finales.....	177
Anexo 31: Diagrama np Con Límites de Control Finales.....	178
Anexo 32: Análisis de Capacidad para el Diagrama p	178
Anexo 33: Análisis de Capacidad para el Diagrama np	179
Anexo 34: Datos y Cálculos para la Construcción de la Curva OC	179
Anexo 35: Identificación de Causas Asignables para Punto(s) Fuera de Control	180
Anexo 36: Plan de Acción para Puntos Fuera de Control OCAP	181
Anexo 37: Propuesta de Formato del Diagrama de Control para la Producción (Diagrama de Control np).....	182

1. CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1. Introducción

En el 2010 Novopan comenzó con los proyectos de expansión en los viveros³ y plantaciones propias de la empresa, para de esta manera poder abastecer la creciente demanda de productos que se ofrecen; actualmente se busca agrandar el patrimonio forestal de la empresa en 1000 hectáreas por año (Bustamante, 2012). En el área de Plantaciones Forestales de Novopan del Ecuador S.A. se pudo encontrar que los Viveros de Itulcachi representan un eslabón fundamental, ya que a través de este medio se busca el aprovisionamiento de plantas para todas las plantaciones que son de propiedad de la empresa o en cuales se trabaja bajo la modalidad de convenios. Es por esta razón que el manejo estadístico y mejora de procesos en el área de los viveros podría garantizar un abastecimiento de plantas significativo y continuo a todas las plantaciones; y de esta forma se lograría cumplir el objetivo de la empresa de no abastecer las plantaciones a través de la compra externa de plantas.

En los Viveros de Itulcachi se busca identificar algún indicador que demuestre el desempeño operacional y que pueda ser mejorado a través de un diseño experimental; para luego ser analizado desde un punto de vista estadístico y económico. Por último, también se desarrollará un punto para el control estadístico en esta área, para de esta manera reducir la variabilidad en los resultados operacionales; y junto al Diseño de Experimentos lograr un mejoramiento continuo en los procesos. A partir de la utilización de las herramientas mencionadas se desarrollará una propuesta que le permita a la empresa mejorar su desempeño operacional e incluso alcanzar ahorros significativos.

Los principales procesos influenciados por las operaciones en los Viveros de Itulcachi son el cultivo y cosecha de los árboles en las respectivas plantaciones. En vista de que la empresa busca obtener un importante volumen de madera a partir de este tipo de plantaciones, también se ven influidos todos los procesos en el área de

³ Un vivero consiste en el espacio destinado para la germinación, crecimiento temprano y maduración de plantas; por lo general se utiliza infraestructura de tipo invernadero (Fraume, 2007).

operaciones en la Planta de Novopan, para la obtención de tableros MDP como producto terminado.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar una propuesta de mejora de procesos en los Viveros de Itulcachi, para la especie *Pinus Radiata*⁴, y plantear un punto eficiente de control estadístico de procesos en la etapa de post emergencia; de manera que la empresa pueda obtener un mayor porcentaje de emergencia en las plantas consideradas luego de 21 días, un mejor control de procesos en los viveros y un mayor aprovechamiento forestal.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Comprender la importancia del papel de los Viveros de Itulcachi para la empresa.
- Entender los procesos que se desarrollan por parte del Dpto. de Plantaciones Forestales en Novopan del Ecuador S.A.
- Realizar un análisis causal para identificar características que se pudieran modificar para de esta manera mejorar el desempeño en la producción de plantas en los Viveros de Itulcachi.
- Desarrollar una propuesta de optimización en los Viveros de Itulcachi mediante el uso de Diseño de Experimentos.
- Generar un punto de control estadístico de la calidad en la etapa de post emergencia en los Viveros de Itulcachi.

En la siguiente tabla se detallan las metas y actividades a realizarse respecto a cada uno de los objetivos específicos planteados:

⁴ Nombre científico de una especie arbórea, perteneciente a la familia Pinus, conocido como el Pino insigne, originario inicialmente de California (CONABIO, 2009).

Objetivos Específicos	Metas	Actividades
I. Comprender la importancia del papel de los Viveros de Itulcachi para la empresa.	Determinar de que manera influye los Viveros de Itulcachi en la cadena de suministro de Novopan.	1. Analizar de manera macro las funciones operacionales en los Viveros de Itulcachi. 2. Determinar los principales involucrados en la cadena de suministro de Novopan. 3. Estudiar el flujo de productos en la cadena de suministro de Novopan.
II. Entender los procesos que se desarrollan por parte del Dpto. de Plantaciones Forestales en Novopan del Ecuador S.A.	Levantar los procesos involucrados desde la germinación de las plantas hasta el transporte de madera hacia la Planta Procesadora.	1. Levantar información en zona de estudio. 2. Realizar el mapeo de procesos y diagramas de flujo
III. Realizar un análisis causal para identificar características que se pudieran modificar para de esta manera mejorar el desempeño en la producción de plantas en los Viveros de Itulcachi.	Reunir información del desempeño de los Viveros de Itulcachi de la empresa.	1. Determinar indicadores de desempeño adecuados. 2. Recoger información histórica y actual del desempeño.
	Determinar posibles fallas en los procesos involucrados y realizar un análisis causal.	1. Investigar problemas en procesos involucrados. 2. Comprobar y modificar información con el personal en la zona de estudio. 3. Realizar el análisis causal con herramientas de la calidad.
IV. Desarrollar una propuesta de optimización en los Viveros de Itulcachi mediante el uso de Diseño de Experimentos.	Analizar las condiciones o factores que alteran el óptimo desarrollo de las plantas en los Viveros de Itulcachi, y determinar la mejor alternativa en función de conceptos estadísticos y económicos.	1. Analizar las variables que afectan el desarrollo de plantas en el vivero. 2. Realizar un Diseño de Experimentos apropiado a la situación. 3. Utilizar herramientas estadísticas para el análisis de datos. 4. Desarrollar un estudio económico para analizar posibles variaciones en el flujo de efectivo, respecto a las diferentes alternativas propuestas. 5. Determinar la mejor solución tomando en cuenta el desempeño operacional y factores económicos.
V. Generar un punto de control estadístico de la calidad en la etapa de post emergencia en los Viveros de Itulcachi.	Establecer un diagrama de control en una estación estratégica en los procesos operativos de los Viveros de Itulcachi	1. Determinar el/los indicador(es) de control a utilizarse. 2. Establecer el/los tipo(s) de diagramas de control a emplearse. 3. Asignar los parámetros necesarios en función de la información actual. 4. Definir formato definitivo para el diagrama de control, para su futuro uso.
	Generar un plan de contingencias para los puntos fuera de control.	1. Proponer plan de acción para condiciones fuera de control.

Tabla 1: Metas y Actividades respecto a los objetivos específicos del proyecto.

Fuente: Generación propia.

1.3. Antecedentes

Previamente al desarrollo de esta tesis en el área de Plantaciones Forestales en Novopan del Ecuador S.A, se han desarrollado dos tesis en esta misma empresa por parte de estudiantes de Ingeniería industrial de la USFQ. La primera consiste en una propuesta de reducción del desperdicio en la elaboración de aglomerado (Mena & Suarez, 2011), mientras que la otra se refiere a la sostenibilidad de la cadena de suministro y el cálculo de la huella de carbono de la empresa (Casares & Ubidia, 2012). Estas dos tesis han recogido importante información sobre la empresa, en especial la más reciente donde ya se mencionan tres fuentes de materia prima de madera: proveedores asociados, proveedores no asociados y plantaciones propias de la empresa o bajo convenios.

La expansión y el énfasis en los proyectos de viveros y plantaciones de Novopan se comenzaron a desarrollar hace dos años aproximadamente, y los proyectos académicos de la USFQ que han sido realizados en esta empresa no han involucrado en detalle al área de los Viveros de Itulcachi, que resulta ser la principal área de estudio de esta tesis. En la actualidad, al contar con un patrimonio forestal de más de 5500 hectáreas de diferentes plantaciones, resulta factible desarrollar un proyecto de tesis en el campo de Aprovechamiento Forestal. El levantamiento de información y procesos es una tarea a realizarse casi en su totalidad, con la excepción de pocos registros de indicadores que han mostrado el desempeño de los Viveros de Itulcachi y algunas plantaciones durante un tiempo limitado.

Por otra parte, en Novopan se han sugerido varios puntos para el desarrollo de esta tesis, en vista de la necesidad de la empresa de lograr un mayor control en el manejo de los viveros y de varias plantaciones. La mejora de los procesos operativos en los Vivero de Itulcachi y el levantamiento de un punto de control estadístico apropiado a las necesidades han sido algunos de los puntos sugeridos.

1.4. Justificación

En el área de Aprovechamiento Forestal, el mayor número de plantas mueren durante los primeros meses, en etapas como germinación⁵, emergencia y cultivo en vivero. Por este motivo, el aumento en el porcentaje de emergencia, luego de un período específico, para especie mencionada, permitirá generar mayores ingresos en esta área y en la empresa en general.

En la actualidad Novopan posee la infraestructura para producir más de dos millones de plantas (2'154,240) al año, en los Viveros de Itulcachi. La producción de las plantas de *Pinus Radiata* dentro de los Viveros se desarrolla en un período de entre 3 y 4 meses, y luego se destina entre 4 y 5 meses hasta la aclimatación⁶ y su transporte a las diferentes plantaciones (Mejía, 2013). Se estima que a través de los viveros se obtiene plantas de este tipo a un costo de \$0,08 dólares; y las plantas que no se pueden obtener bajo este medio, son compradas en el mercado, donde están cotizadas en \$0,16 dólares.

Para diciembre del 2012, los Viveros de Itulcachi presentan que el 81% de las semillas de *Pinus Radiata* emergen oportunamente luego de 21 días (Olmedo, 2013); de manera que al incrementar este indicador en un 10% se busca alcanzar ahorros de hasta 18 mil dólares al año. Evaluar otros mecanismos para los procesos operativos en los viveros, como por ejemplo la elaboración propia de un sustrato también podría generar ahorros significativos (Olmedo, 2013).

1.5. Metodología

Se va a utilizar como metodología principal al Método Científico, donde se incorpora el mejoramiento continuo y estabilización de procesos, y utiliza conceptos estadísticos para el control y reducción de variación (Pyzdek & Keller, 2011). A continuación se muestran los pasos referentes a la metodología mencionada y su relación con el desarrollo de la tesis:

⁵ La germinación de una planta se lleva a cabo cuando el embrión de la semilla gana volumen y finalmente rompe la corteza (Fraume, 2007).

⁶ La aclimatación se realiza con fines de endurecer a la planta, donde se expone a condiciones ambientales similares a donde se desarrollará la misma (Olmedo, 2013).

1.5.1. Observación Sistemática y Definición

Primero resulta necesario el levantamiento de todos los procesos que se realizan por parte del Dpto. de Plantaciones Forestales en Novopan, al igual que la recolección de registros de información existentes en este campo. En este punto se establecen los problemas y las necesidades que se presentan en los procesos operativos del Vivero de Itulcachi, de tal manera que se pueda llegar a una exposición clara de los objetivos planeados.

1.5.2. Medición

En este paso se establecen los sistemas de medición al igual que los indicadores y factores a ser medidos en puntos específicos de los procesos, para en un futuro ser analizados e interpretados.

1.5.3. Formulación y Experimentación

Se identifican soluciones factibles y creativas, y por medio del diseño de experimentos y los pasos que sugiere Montgomery (2007), se establece un protocolo para el futuro análisis de alternativas y resultados. También se propone implementar un sistema de control para las plantas de la especie *Pinus Radiata* en los Viveros de Itulcachi.

1.5.4. Análisis

Consiste en la interpretación estadística de los datos recogidos, al igual que de los resultados obtenidos a través del diseño experimental. Utilizando las cartas de control desarrolladas con anterioridad, se analizará el desempeño actual de los viveros y se elaborará un plan para puntos fuera de control.

1.5.5. Exposición de Resultados

En base a los resultados obtenidos, se elaborará un plan de implementación con las soluciones propuestas; en cuanto a la optimización y el control estadístico de procesos.

1.6. Revisión Literaria

La FAO (The *Food and Agriculture Organization* of the United Nations), ha estimado que la producción anual de leña y productos a base de madera alcanza un valor de más de \$400.000 millones de dólares, que representa aproximadamente el 2 por ciento de la producción económica mundial (Harcharik, 2011). Las mayores industrias madereras son Brasil, Malasia, Indonesia y otros países en Europa del Este, y se ha observado una oportunidad de crecimiento en este tipo de industria debido a la implementación de conceptos técnicos y de sostenibilidad en el aprovechamiento forestal; Chile, Argentina y Uruguay son algunos ejemplos de los países que están incursionando en este tipo de industrias (Biani, Ingrassia, Lanese, & Nusshold, 2009). El manejo estratégico y silvicultural de las plantaciones forestales fomenta el vínculo entre los aspectos de sostenibilidad, económicos y sociales, de tal manera que los beneficios se desarrollen en las personas como en el medio ambiente (Poschen, 2000). La industrialización del aprovechamiento forestal por su parte ha considerado conceptos de optimización y a su vez conceptos ambientales, ya que se muestra como pieza clave en la cadena de suministro de una serie de empresas (Ferreira & Otros, 2011).

Ingeniería Industrial Forestal:

La industria forestal tiene un gran impacto en la economía a nivel mundial, de manera que en algunos países se ha creado la carrera de Ingeniería Industrial Forestal, en la cual se combina conceptos de silvicultura y de economía industrializada; donde se incluyen una serie de conceptos estadísticos y de análisis para elevar la producción y el control del predio forestal (FING, 2013). Esta alternativa se presenta como carrera y especialización en algunas universidades en países como: Alemania, España, México, entre otras. Dentro de esta área se involucran los fundamentos biológicos, químicos, físicos, matemáticos y de los sistemas de representación necesarios para el desarrollo de la actividad profesional, así como para identificar los diferentes elementos bióticos y físicos del medio forestal (UVA, 2011).

Entre las herramientas estadísticas y probabilísticas que se promocionan, se encuentra el diseño de experimentos como la más usada para analizar distintos

ensayos (FING, 2013). Y para evaluar y controlar estadísticamente los viveros y predios forestales destaca el libro: Concepto de Calidad de Plantas en Viveros Forestales, que presenta una excelente guía para el control de calidad de plántulas de *Pinus radiata* (Toral, 1997). Para el control de calidad se sugiere la realización de muestreos de aceptación, sin embargo también se necesitan herramientas para determinar las causas de que algún lote no cumpla con los parámetros de calidad (Mejía, 2013).

Diseño de Experimentos:

Para la optimización de procesos en el sector forestal es común la realización de ensayos experimentales, y las herramientas estadísticas que acompañan a la creación de un diseño experimental permiten la obtención de resultados robustos e incluso permiten minimizar la utilización de diferentes recursos como tiempo y espacio (Hinkelmann, 2012). Los diferentes tratamientos que se pueden utilizar para mejorar el desarrollo y crecimiento de las plantas deberían ser evaluados a partir de ensayos y un análisis estadístico, antes de comenzar con un proyecto de utilización en masa (Mera, 2012).

La identificación del problema en el predio forestal debe estar respaldada por una variable de respuesta que permita medir el desempeño del proceso (Hinkelmann, 2012), para evaluar plantaciones donde ya se encuentran cultivos con más de dos años, se sugiere la altura como el diámetro de los árboles (Mexal & Landis, 1990). Mientras que para el caso de viveros de producción de plántulas forestales, la literatura menciona que el porcentaje de emergencia después de un tiempo específico, o la velocidad de emergencia, es un indicador válido (Maciel, 2001). Resulta mandatorio definir el tiempo en que serán evaluados los resultados, de acuerdo a las características respectivas de cada especie forestal; por ejemplo si se busca evaluar la emergencia de una plántula, se sugiere un período entre 2 y 4 semanas (Ferreira & Otros, 2011).

El diseño factorial completo con bloques aleatorizados consiste en el modelo mayoritariamente utilizado, donde se propone reducir el impacto de los efectos perturbadores del ambiente a través de la utilización de segmentos de análisis (Mera, 2012). Es sugerible limitar el alcance del proyecto a la temporada en que fue realizado

los experimentos, donde se puede estimar algunos de los factores perturbadores que pudieron influenciar en los resultados (Mera, 2012) (Mejía, 2013).

La elección de los factores que se consideran en el diseño experimental para la evaluación de un predio forestal generalmente son aspectos cualitativos, donde se analiza la aplicación o no de un determinado tratamiento, aunque también se puede manejar factores cuantitativos cuando se pretende evaluar la dosificación de un mismo producto o factor (Maciel, 2001). En los viveros donde se siembran los futuros árboles madereros, existen una serie de factores que pueden influir en su etapa germinativa, como por ejemplo los diferentes sustratos (Roweder, Souza, & Bispo da Silva, 2011), tratamientos de escarificación en las semillas (Mera, 2012), la utilización de biocontroladores o biofertilizantes (Maciel, 2001), características genéticas de las semillas (Moraa & Perretb, 2007), entre otros.

. En este punto cabe destacar que para poder controlar y obtener conclusiones respecto a los factores climáticos como temperatura, humedad, intensidad de luz, entre otros, se realizan los experimentos en laboratorios o ambientes que permitan la estabilización de estos factores durante todo el período en el cual se realizan los estudios (Arahana, Arteaga, Tobar, Jaramillo, & Torres, 2012) (Roweder, Souza, & Bispo da Silva, 2011).

Para el análisis de los datos se sugiere el análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias muestrales, ya que solo de esta manera se podrán determinar la mejor o las mejores combinaciones para determinado ensayo (Hinkelmann, 2012) (Mera, 2012). Adicionalmente algunos autores también buscan modelar el comportamiento de una variable de respuesta a través de regresiones (Moraa & Perretb, 2007).

Control Estadístico de Procesos:

En viveros como en predios forestales, por lo general no se cuenta con criterios ni indicadores de referencia para realizar un control de calidad en la producción de plántulas; por lo que el muestreo representa la principal herramienta si se busca levantar indicadores específicos (Morales & Viedma, 1998). El objetivo de un muestreo

aleatorizado consiste en determinar los factores cualitativos y cuantitativos que servirán para evaluar el desarrollo de las plantas u árboles, dentro que un rango de valores que se consideran como aceptables (Lameiro & Diaz, 2000). Existen pautas y procedimientos para realizar un adecuado muestreo en un predio forestal para especies específicas de plántulas (Toral, 1997).

Luego de haber determinado las principales deficiencias de las plántulas, se indica la calidad esperada por lote y de esta manera se tiene uno o varios criterios para la calificación de los futuros lotes de producción (Sánchez & Murillo, 2004). Algunos ejemplos de muestreos realizados en viveros forestales han podido especificar las diferentes enfermedades o disconformidades en que pueden caer las plántulas, y relacionarlas con algún porcentaje de supervivencia de las mismas (Rojas F. , 2002) (Sánchez & Murillo, 2004). El resultado final de esta herramienta consiste en establecer límites de aceptación o rechazo en función de la calidad y supervivencia de las plántulas, donde se espera seleccionar solo a las mejores plantas para su futuro cultivo (Rojas F. , 2002).

El problema con la técnica del muestreo consiste en que su alcance se limita a la determinación de los límites de especificaciones, y no se menciona ningún procedimiento que pueda determinar las causas asignables, ni acciones a tomar para mantener la producción bajo las condiciones aceptables (Mejía, 2013). Otra limitación del método mencionado consiste en la política estricta de aceptación o rechazo, donde se seleccionan las mejores plantas, y se desechan las que no tienen una calidad representativa; esto genera cierto porcentaje de desperdicio, y solo es factible para cuando la capacidad del vivero sobrepasa la demanda (Mejía, 2013).

Algunos ejemplos de la funcionalidad de un diagrama de control al determinar límites de control se evidencian en otros proyectos forestales como por ejemplo: para las plántulas de ciprés (Rojas F. , 2002), o en general para plantas forestales (Sánchez & Murillo, 2004). A parte de controlar la producción por lotes de plántulas bajo límites de control estadístico, el determinar causas asignables ya es un tema que se considera para proyectos relacionados (Sánchez & Murillo, 2004) (Mera, 2012).

Las cartas de control, junto con un plan de acción para puntos fuera de control podrían relacionar las causas asignables al bajo desempeño del proceso y a su vez brindar soluciones en el proceso para futuros lotes de producción (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006); sin embargo hay que considerar las suposiciones que tiene este tipo de herramienta, y realizar los cambios pertinentes para ajustar el tipo de producción que se maneja en los predios forestales (Mejía, 2013). Resulta posible relacionar el diseño de experimentos con el control estadístico de procesos si se busca la estabilización y control de una variable de respuesta específica, e incluso esta relación buscaría el mejoramiento continuo, tal como es sugerible por varios autores (Pyzdek & Keller, 2011).

En el Ecuador:

El Ecuador es reconocido por presentar una serie de recursos naturales que pueden ser explotados en beneficio de las industrias, en cuanto a la industria forestal, la región sierra y oriental del país presenta las condiciones y disposición de terreno aptas para el aprovechamiento de madera (MAGAP, 2013). Según un informe de la FAO, el 40% de los suelos estaban ocupados con bosques naturales, a lo que se suma una rica biodiversidad, siendo solo la tercera parte reservas naturales (2010). Es necesario resaltar que las plantaciones forestales son principalmente de eucalipto y pino, las que alcanzan en la actualidad cerca de 100 mil hectáreas, esto se debe a su facilidad de cultivo y control (MAGAP, 2013).

Pese a las condiciones favorables registradas, la importancia del sector forestal es bastante pequeña y sólo contribuye en 1,9% al PIB total, muy por debajo de las actividades agrícolas tradicionales como banano, café y cacao (MAGAP, 2013). Es por esta razón que se debería fomentar la industrialización de los procesos madereros, de acuerdo a una visión técnica en los procesos involucrados.

En el país se han desarrollado algunos estudios técnicos en base al mejoramiento de procesos en el área agrónoma, entre los que destaca el mejoramiento en la etapa de emergencia para la Acacia, un árbol nativo de la sierra ecuatoriana

(Mera, 2012); sin embargo la mayoría de viveros forestales funcionan bajo conceptos aún artesanales y no involucran el desarrollo de herramientas estadísticas.

Puntos Destacables en Revisión Literaria:

- Las plantaciones forestales son un eslabón clave en la cadena de suministro, de manera que se puede obtener la materia prima de la cual dependen una serie de industrias a nivel mundial (Harcharik, 2011).
- En la actualidad existe la oportunidad de implementar conocimientos técnicos en los predios forestales, para de esta manera alcanzar una mejora en el desempeño de los procesos, al igual que la reducción de la variabilidad en los resultados que se obtienen (FAO, 2010). Este tipo de industria se encuentra en desarrollo en el Ecuador, y resulta conveniente la incorporación de herramientas estadísticas, donde se propone un mejor manejo y mejora sobre los procesos involucrados al aprovechamiento forestal (MAGAP, 2013).
- El diseño experimental es un método bastante utilizado en las primeras etapas del ciclo de vida de las plantas forestales, y de esta forma se busca la encontrar alternativas viables para el oportuno desempeño de las plántulas; donde el porcentaje de emergencia ha sido una variable utilizada en algunos proyectos previamente referenciados (Maciel, 2001) (Roweder, Souza, & Bispo da Silva, 2011) (Mera, 2012).
- Por otro lado se ha buscado desarrollar un plan de control en viveros forestales a partir de herramientas de muestreo donde se han enfocado en determinar las características de la calidad que deben cumplir las plántulas (Lameiro & Diaz, 2000) (Rojas F. , 2002) (Sánchez & Murillo, 2004); sin embargo se podría proponer otras herramientas estadísticas para poder relacionar las deficiencias en la calidad con causas asignables y acciones correctivas para futuros lotes de producción (Mejía, 2013).

2. CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Levantamiento de Procesos

También llamado mapeo de procesos, constituye una técnica para el entendimiento de determinada operación o secuencia de operaciones, donde se busca detallar todos los aspectos que se ven involucrados (Niebel & Freivalds, 2004).

2.1.1. Lista Maestra de Procesos

Representa un enlistado de todos los macro-procesos, divididos entre estratégicos, productivos y habilitantes, cada uno con sus respectivos procesos involucrados (Niebel & Freivalds, 2004).

2.1.2. Diagramas del Flujo de Procesos

Se utiliza para mostrar la secuencia cronológica de todas las operaciones, inspecciones, holguras y materiales que se utilizan en un proceso, de manera detallada (Niebel & Freivalds, 2004). En la Figura 2 se muestra un ejemplo de un flujograma, para el proceso de pago a proveedores en una institución. A continuación se muestra la simbología ANSI (American National Estándar Institute) para los diagramas de flujo de procesos:

Símbolo	Significado	Símbolo	Significado
	Inicio / Fin		Conector
	Actividad		Conector en otra Página
	Proceso		Almacenamiento / Archivo
	Decisión		Líneas de Flujo
	Datos		Comentario
	Registro		Referencia a otra página

Figura 1: Simbología ANSI para Diagramas de Flujo de Procesos.

Fuente: Generación propia a partir de Niebel y Freivalds (2008)

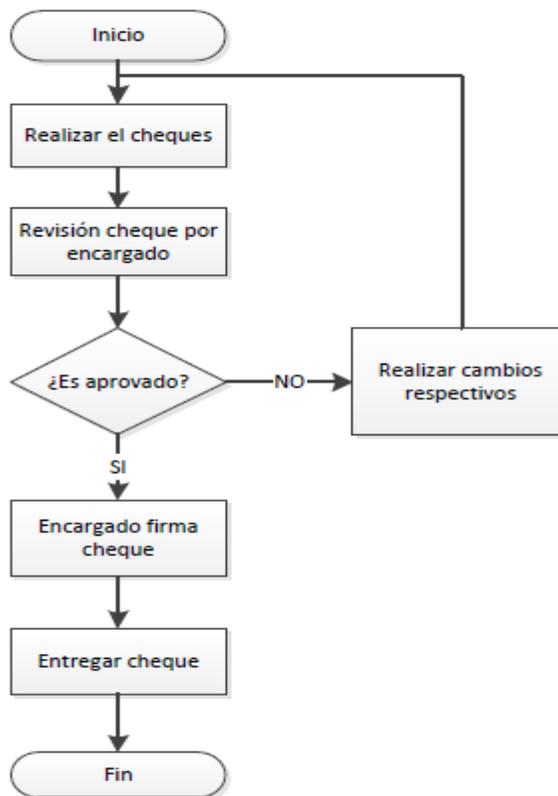


Figura 2: Ejemplo de Flujograma.

Fuente: Generación propia.

2.1.3. Cadena de Valor

La cadena valor es una herramienta de gestión diseñada por Michael Porter que permite realizar un análisis interno de una empresa, a través de su desagregación en sus principales actividades generadoras de valor (VBM, 2012).

2.1.4. Diagrama SIPOC

Un diagrama SIPOC es una herramienta de la metodología Six Sigma que permite comprender todo un proceso en base a sus etapas más importantes. Este diagrama ayuda a representar de manera gráfica y a un nivel macro, la calidad de lo que se introduce, transforma y sale del proceso que se está analizando; la información que se analiza, refiere a: proveedores, entradas, el proceso, salidas y el cliente directo del proceso (Taylor, 2009).

2.2. Cadena de Suministro

La cadena de suministro es un conjunto de todas las partes o involucrados de manera directa o indirecta en la satisfacción del cliente final; esta cadena incluye proveedores, fabricante, transportista, almacenes, vendedores, clientes y cualquier otro organismo o personas relacionadas con la fabricación y venta de un bien o servicio (Chopra & Meindl, 2007). El análisis de la cadena de suministro permite obtener una visión global de todos los procesos involucrados dentro y fuera de la empresa, y se pueden estudiar flujos de productos, dinero e información. Las principales funciones del manejo de la cadena de suministro son: desarrollo de nuevos productos, mercadotecnia, análisis de operaciones, distribución, finanzas y servicio al cliente (Chopra & Meindl, 2007).

2.3. Análisis Causal

Representa un conjunto de herramientas para la solución de problemas donde se parte analizando los factores más cercanos al problema, para luego llegar a las causas principales o raíz del mismo (Niebel & Freivalds, 2004).

2.3.1. Diagrama Ishikawa

También conocido como diagramas de pescado o diagramas de causa-efecto. Fueron desarrollados por Ishikawa como una medida de control de calidad para la Kawasaki Steel Company. El método consiste en definir la ocurrencia de un evento no deseado como la “cabeza de pescado”, y después identificar los factores que contribuyen, es decir las causas como el “esqueleto del pescado” (Niebel & Freivalds, 2004). En la siguiente figura se muestra un ejemplo de un diagrama Ishikawa para el efecto de obtener hojas sucias en una imprenta:

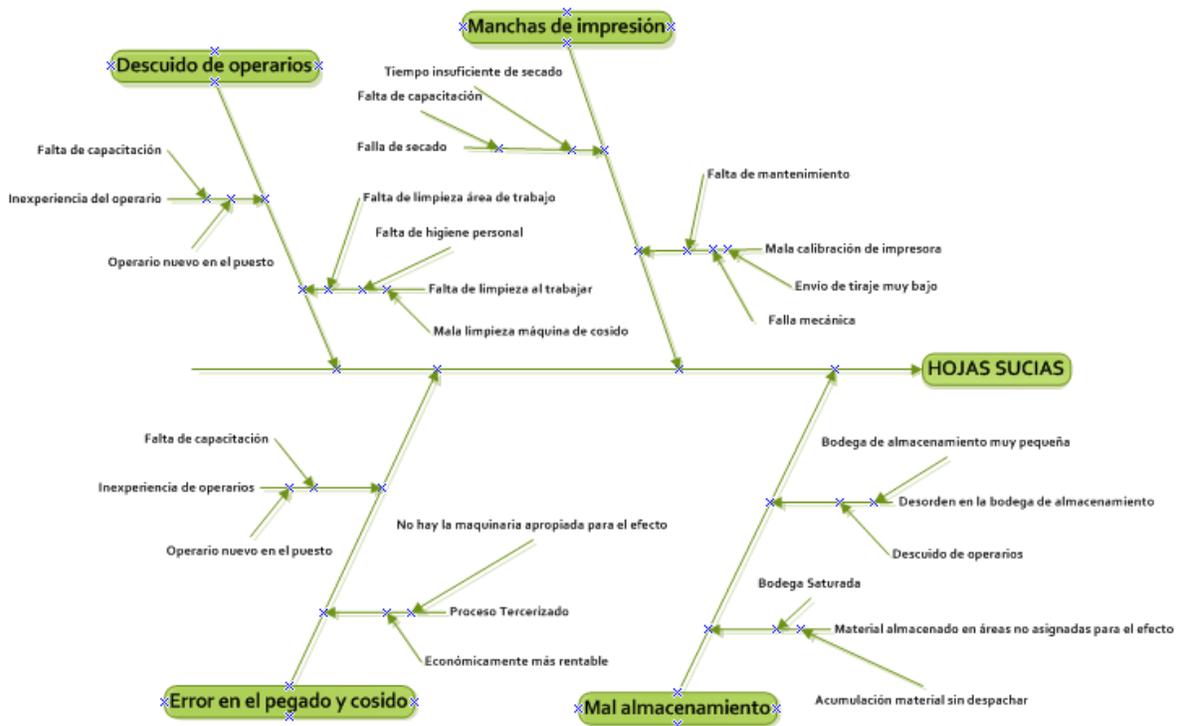


Figura 3: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa

Fuente: Generación propia.

2.3.2. Diagrama de Pareto

El análisis de Pareto es una técnica para clasificar las áreas de un problema de acuerdo a su grado de importancia, y se enfoca en las más importantes. Este análisis explica que el 80% de los problemas se deben a un 20% de las causas (Stevenson, 2011). A continuación se muestra un ejemplo de un Diagrama de Pareto para identificar las causas potenciales de errores en una imprenta (siendo errores de impresión y hojas sucias más del 80% de los errores):

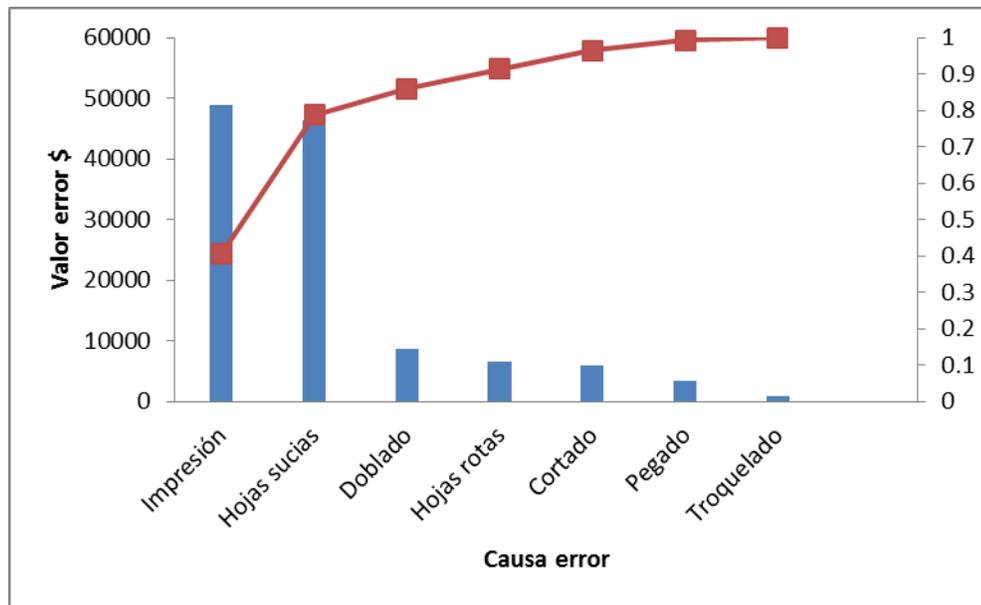


Figura 4: Ejemplo de Diagrama de Ishikawa

Fuente: Generación propia.

2.3.3. Árbol de Eventos

Esta herramienta permite llegar a determinar las causas esenciales de un evento específico; su construcción consiste en realizar un análisis sistemático donde se determinan las causas inmediatas, hasta llegar a las causas bases de la situación estudiada. También se conoce a esta herramienta como árbol de fallas, y ayuda a la comprensión y relación de los problemas que tienen trascendencia para una empresa, y se conjugan en un problema generalizado (Solé, 2005). A seguir se muestra la simbología que utiliza esta herramienta y un ejemplo práctico:

Símbolo	Significado
	Suceso básico elemental
	Suceso intermedio
	Suceso intermedio sin desarrollo por falta de información o interés
	Puerta "Y"; Cumplimiento todos los sucesos de entrada
	Puerta "O"; Cumplimiento de alguno de los sucesos de entrada
	Referencia de salida o entrada para continuar desarrollo

Figura 5: Simbología Árbol de Eventos

Fuente: Generación propia a partir de Solé (2005)

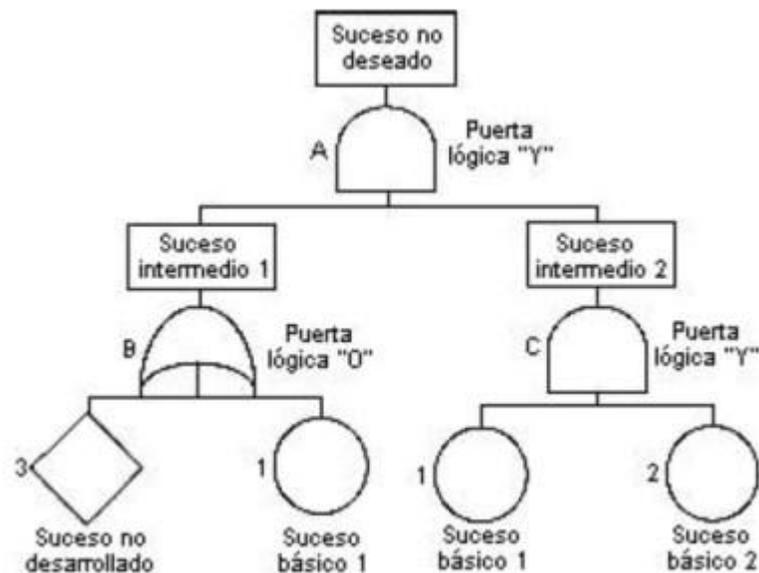


Figura 6: Ejemplo Árbol de Eventos

Fuente: (Sabina, 2012)

2.3.4. Diagrama de Caja y Bigote

Este diagrama se fundamenta en el análisis de los cuartiles de una serie de datos; se identifican los valores atípicos, mínimo, máximo, al igual que todos los cuartiles (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.4. Herramientas Estadísticas

Las herramientas estadísticas han sido utilizadas para explicar o predecir cierto comportamiento a partir del análisis de cierta información histórica (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.4.1. Pruebas de Hipótesis

Son pruebas de significación que permiten la comparación de dos formulaciones (hipótesis nula y alternativa) se haga en términos objetivos, con el conocimiento de los riesgos asociados si se llega a una conclusión equivocada (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.4.3. Análisis de Varianzas (ANOVA)

Consiste en el procedimiento correcto para probar la igualdad de varias medias; probablemente es la técnica más útil en el campo de la inferencia estadística (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007) El modelo que se sostiene en el ANOVA (para un factor) se muestra en la siguiente ecuación:

$$y_{ij} = u + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

i es el número de tratamiento y j es el número de observación

y_{ij}: es la observación del tratamiento i y la observación j

τ_i: efecto del tratamiento i

ε_{ij}: error de la observación j del tratamiento i

Ecuación 1: Modelo ANOVA para un Factor

Fuente: (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

La varianza para cualquier observación de un determinado tratamiento se puede estimar a través de la siguiente ecuación:

$$V y_{ij} = \sigma^2 + \sigma_{\tau}^2$$

Donde los estimadores de los componentes de la varianza son:

$$\sigma^2 = MS_E \qquad \sigma_{\tau}^2 = \frac{MS_{Tratamientos} - MS_E}{n}$$

Ecuación 2: Componentes de la Varianza Modelo ANOVA

Fuente: (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

El ANOVA prueba dos diferentes hipótesis que se muestran en la Ecuación 3, a través del Estadístico F y del Valor P, ambos indicadores se enfocan en la suma de cuadrados (SS) y los grados de libertad (DF) del modelo (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

$$H_0: u_1 = u_2 = \dots = u_n$$

$$H_1: \text{Alguna de las medias difiere}$$

Ecuación 3: Prueba de Hipótesis ANOVA

Fuente: (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.4.3.1. Supuestos ANOVA

Para la realización de este análisis, se debe cumplir con tres diferentes supuestos que se enfocan en los valores residuales de los datos analizados; estos supuestos son: (1) Normalidad, (2) Igualdad de varianzas e (3) Independencia.

- **Supuesto de normalidad:** Se verifica si los residuos se comportan de acuerdo a una distribución normal con media cero y varianza σ^2 (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007). Su análisis se realiza construyendo una gráfica de probabilidad normal y también un histograma; en la gráfica de probabilidad normal se debe observar que los datos se encuentren sobre la línea que identifica la distribución; mientras que en el histograma se pretende mostrar a

través de su tendencia central y dispersión, que la frecuencia de los datos es similar a la Campana de Gauss (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

- **Igualdad de Varianzas:** Se considera que las varianzas entre los residuales se mantienen constantes; se necesita construir un diagrama de dispersión donde se comparan los residuales contra los valores ajustados (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).
- **Independencia de los residuos:** Este último supuesto se enfoca en el orden en que fueron tomadas las observaciones, de manera que se espera que las mismas hayan sido tomadas aleatoriamente (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007). Se elabora una gráfica de dispersión donde se compara los residuos contra el orden de la corrida, y se pretende no identificar ningún tipo de tendencias.

2.4.4. ANOVA; Modelo de Efectos Aleatorios

Cuando el experimentador selecciona aleatoriamente “a” niveles de la población de niveles para un factor, entonces se dice que el factor es aleatorio; para estos casos se debe seguir parámetros diferentes a la realización de un ANOVA normal (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007). Este modelo mantiene los mismos aspectos mostrados en la Ecuación 1, sin embargo el análisis utiliza diferentes pruebas de hipótesis, estas se muestran a continuación.

$$H_0: \sigma_\tau^2 = 0$$

$$H_1: \sigma_\tau^2 > 0$$

Ecuación 4: Prueba de Hipótesis ANOVA para Modelo de Efectos Aleatorios

Fuente: (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

Por lo tanto si se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alternativa ($H_1: \sigma_\tau^2 > 0$), se demuestra que existe variabilidad significativa entre los tratamientos considerados; caso contrario, si no se rechaza la hipótesis nula, todos los tratamientos son similares (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.4.5. Modelos de Regresión

Es el principal método utilizado para la predicción de variables, donde se modela el comportamiento de los datos históricos, en función de determinar el resultado futura para una variable de interés específica (Stevenson, 2011).

2.4.5.1. Coeficiente de Determinación Múltiple (R^2)

El coeficiente R^2 es una medida de la cantidad de reducción en la variabilidad de la variable dependiente “y” en función de las variable dependientes “x”; esta medida describe la bondad de ajuste del modelo hacia los verdadero datos (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007). Para obtener un resultado más robusto se utiliza el coeficiente R^2 ajustado, donde se considera el número de muestras al igual que el número de factores en el modelo de regresión (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007). A continuación se muestran las fórmulas para calcular estos indicadores:

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \qquad R^2_{ajustada} = 1 - \frac{n-1}{n-k} (1 - R^2)$$

Donde:

$$SS_T = \sum (y_i - \bar{y})^2 \qquad SS_R = \sum (f_i - \bar{y})^2 \qquad SS_E = \sum (y_i - f_i)^2$$

Ecuación 5: Coeficiente de Determinación Múltiple R^2 y $R^2_{ajustada}$

Fuente: (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.4.6. Aproximación de la Distribución de Probabilidad Binomial a la Normal

La distribución Binomial consiste en la secuencia de “n” ensayos de Bernoulli, cada uno con probabilidad “p” de éxito; si el número de ensayos “n” es grande, se puede utilizar el teorema del límite central para justificar una distribución normal con media “np” y varianza “np(1-p)” (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006). Para aproximar la distribución Binomial a la normal se debe cumplir con las siguientes restricciones:

- $np > 10$; $0,1 \leq p \leq 0,9$ (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).
- $np > 5$; $n(1-p) > 5$ (Ross, 2005).

La aproximación a la normal se puede usar para la variable aleatoria $p = x/n$, conocida como la fracción muestral defectuosa, esta tiene una distribución con media p y varianza $p(1-p)/n$ (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006), donde:

$$P(u \leq p \leq v) = \Phi \frac{v - p}{\sqrt{p(1-p)/n}} - \Phi \frac{u - p}{\sqrt{p(1-p)/n}}$$

Ecuación 6: Probabilidad de que la variable p esté dentro de los límites u y v .

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.5. Diseño de Experimentos

El diseño estadístico de experimentos se refiere al proceso para planear el experimento de tal forma que se recaben datos adecuados que puedan analizarse con métodos estadísticos que llevarán a conclusiones válidas y objetivas (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007). Las siguientes pautas han sido definidas por Coleman y Montgomery (2007), las cuales muestran los pasos acertados en el diseño de experimentos:

- i. Identificación y enunciación del problema.
- ii. Elección de los factores, los niveles y los rangos.
- iii. Selección de la variable de respuesta
- iv. Elección del diseño experimental.
- v. Realización del experimento
- vi. Análisis estadístico de los datos.
- vii. Conclusiones y recomendaciones.

2.5.1. Diseño Factorial

El diseño de un experimento factorial completo, involucra el estudio de la interrelación entre uno o más factores, donde cada uno cuenta con sus distintos niveles, y se cubren todas las posibles combinaciones de esos niveles en todos los factores. Al

evaluar los resultados de cada combinación se determinaría cual es el efecto de cada factor al igual que la mejor combinación para lograr un objetivo (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.5.2. Diseño Factorial Fraccionado

Cuando un diseño factorial se incrementa en el número de factores y niveles respectivos, el número de corridas rebasa el número de recursos disponibles; por lo que el diseño factorial fraccionado propone que el experimentador puede suponer razonablemente que ciertas interacciones de orden superior son insignificantes, y al correr una fracción justificada del experimento completo, se puede obtener información de los efectos principales y la interacciones de orden inferior (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.5.3. Formación de Bloques

Hay múltiples situaciones donde no es posible efectuar todas las corridas de un diseño de experimentos bajo condiciones homogéneas, por lo que se realiza la formación de bloques que busca aislar las condiciones no controlables (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.5.4. Prueba de la Diferencia Significativa Mínima de Fisher LSD

Para usar el procedimiento de la diferencia significativa mínima (LSD) de Fisher, simplemente se debe comparar la diferencia determinada entre cada par de promedios con el estadístico LSD; si $y_{i.} - y_{j.} > LSD$, se concluye que las medias poblacionales μ_i y μ_j son significativamente diferentes (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007). El estadístico LSD se calcula de la siguiente manera:

$$LSD = t_{\alpha/2, N-a} \frac{\sqrt{2 MS_E}}{n}$$

Ecuación 7: Diferencia Significativa Mínima (LSD)

Fuente: (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007).

2.6. Ingeniería Económica

La Ingeniería Económica consiste en la determinación de los parámetros y consideraciones económicas que se utilizan cuando se realiza la selección entre una o varias alternativas; utiliza una colección de técnicas matemáticas que simplifican las comparaciones económicas, y con estas técnicas, es posible desarrollar un enfoque racional y significativo para evaluar los aspectos económicos de los diferentes métodos (alternativas) empleados para un objetivo específico (Blank & Tarquin, 2007).

2.6.1. Tasa de Interés del Mercado i_f

A la tasa de interés del mercado i_f también se le conoce como tasa de interés inflada, por lo que considera a la tasa de interés real i al igual que la tasa de inflación f ; es una medida bastante apropiada para calcular el cambio del valor del dinero en el tiempo y la realización de diagramas de flujo de efectivo (Blank & Tarquin, 2007); a continuación se muestra la fórmula para el cálculo de la i_f .

$$i_f = i + f + if$$

Ecuación 8: Tasa de Interés del Mercado

Fuente: (Blank & Tarquin, 2007).

2.6.2. Diagrama de Flujo de Efectivo

Los flujos de efectivo se pueden describir como las entradas y salidas de dinero que pueden ser generadas por un proyecto o inversión, los flujos de efectivo se evalúan durante períodos fijos y la realización de estimaciones sobre el futuro incierto es una práctica común para este tipo de herramienta (Blank & Tarquin, 2007). El diagrama del flujo de efectivo consiste en un diagrama de barras donde se grafica el valor neto del efectivo (entradas - salidas) por determinado período de tiempo (Blank & Tarquin, 2007). Una característica de estos diagramas consiste en determinar cuándo se capitaliza el dinero para los diferentes cálculos y estimaciones; la opción más utilizada consiste en la capitalización del dinero al final del período (Blank & Tarquin, 2007).

2.6.3. Indicadores Económicos de Desempeño

Las medidas de desempeño de un proyecto o inversión generalmente manejadas en la ingeniería económica son: el Valor Presente Neto VPN, Valor Futuro Neto VFN, Tasa Interna de Retorno TIR y la razón Beneficio/Costo, esta lista representa algunos de los indicadores que se usan con mayor frecuencia, y es necesario mencionar que todos consideran conceptos esenciales del valor del dinero en el tiempo (Blank & Tarquin, 2007).

La Tasa Interna de Retorno se puede conceptualizar como la tasa de descuento en la que el VPN de un flujo de efectivo es igual a cero; este indicador presenta algunas complicaciones para la comparación de dos o más proyectos excluyentes, a menos que estos tengan la misma inversión inicial, riesgo, entre otros factores (Blank & Tarquin, 2007).

En este punto cabe resaltar la utilización de la razón B/C para el análisis de proyectos públicos, donde también se puede manejar un análisis comparativo entre varias alternativas (Blank & Tarquin, 2007).

2.7. Control Estadístico de Procesos

Las variaciones en los procesos son muchas veces las causantes de problemas relacionados a la calidad de los productos. En este sentido la base de esta metodología es el estudio de las fuentes de variación de los procesos mediante el uso de herramientas estadísticas (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.7.1. Cartas de Control

Es una de las principales técnicas del control estadístico de proceso, o SPC; en esta carta los promedios de las mediciones de una característica de la calidad hechas de muestras tomadas del proceso, se grafican contra el tiempo (o número de muestra) (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006). La carta tiene una línea central (CL) y los límites de control superior e inferior (UCL y LCL); el proceso se encuentra bajo control cuando los puntos graficados no rebasan los límites de control calculados, ni se detecta algún patrón sistemático (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006). Se determina que un proceso ha salido del control estadístico cuando:

- Uno o más puntos salieron fuera de los límites de control.
- Una corrida de ocho puntos consecutivos se encuentran en lado de la línea central.
- Seis puntos seguidos se incrementan o se decrementan.
- Catorce puntos seguidos se alternan arriba y abajo.
- Un patrón inusual o no aleatorio en los datos.
- Uno o más puntos cerca de un límite de control.

La Carta de Control de Shewart es la referencia para la construcción de este tipo de cartas, donde “ w ” es un estadístico que mide una característica de la calidad, con media μ_w y varianza σ_w^2 ; y se utiliza el parámetro “ L ” para definir la distancia de los límites de control (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006). El modelo general de la carta de control de Shewart se puede ejemplificar de la siguiente manera:

$$UCL = \mu_w + L\sigma_w$$

$$\text{Línea Central} = \mu_w$$

$$LCL = \mu_w - L\sigma_w$$

Ecuación 9: Modelo General de la Carta de Control de Shewart

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

El Control Estadístico de procesos es una herramienta utilizada para alcanzar la reducción de la variabilidad dentro de unos límites establecidos, con la intención de obtener productos más uniformes (Ruiz & Artur, 2006).

2.7.1.1. Cartas de Control por Variables

A una característica particular medible de la calidad, tal como una dimensión, peso o volumen se le llama variable, las castas de control para variables son de uso generalizado (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.7.1.2. Cartas de Control por Atributos

Muchas características de la calidad no pueden representarse con valores numéricos, y se utilizan terminología relacionada a si el producto es “defectuoso” o “no

defectuoso”; a las características de la calidad de este tipo se les llama atributos (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

Carta de control para la fracción disconforme (carta p).

La fracción disconforme se define como el cociente del número de artículos disconformes de la población y el número total de artículos que componen dicha población; el artículo puede tener varias características que son examinadas, y si el artículo no se ajusta a los estándares establecidos se clasifica como disconforme” Porcentaje. También se puede trabajar con la fracción conforme (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006). Cada artículo que se examina puede modelarse como una variable aleatoria de Bernoulli, y la sumatoria de artículos examinados se modela con la distribución Binomial:

$$P(D = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad x = 0, 1, \dots, n$$

Ecuación 10: Distribución de Probabilidad Binomial

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

Donde: Muestra aleatoria de “n” unidades de producto, con probabilidad “p” de disconformidad y “D” unidades disconformes.

$$p = \frac{D}{n} \quad \mu_p = p \quad \sigma_p^2 = \frac{p(1-p)}{n} \quad p_i = \frac{D_i}{n} \quad p = \frac{\sum_{i=1}^m D_i}{mn}$$

Ecuación 11: Características Distribución de Probabilidad Binomial

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

Los límites de control para una carta de control para la fracción disconforme (p) sin un valor estándar dado se calculan de la siguiente manera:

$$UCL = p + 3 \frac{\overline{p(1-p)}}{n}$$

$$\text{Línea Central} = p$$

$$LCL = p - 3 \frac{\overline{p(1-p)}}{n}$$

Ecuación 12: Límites de Control sin un Valor Dado para la Carta p

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

Carta de control para número de disconformidades (np):

Mientras que los límites de control para una carta de control para el número de disconformidades, Carta np, sin un valor estándar dado se calculan de la siguiente manera:

$$UCL = np + 3 \frac{\overline{np(1-p)}}{n}$$

$$\text{Línea Central} = np$$

$$LCL = np - 3 \frac{\overline{np(1-p)}}{n}$$

Ecuación 13: Límites de Control sin un Valor Dado para la Carta np

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.7.2. Muestreo de Aceptación

Como un objetivo de la inferencia estadística consiste en sacar conclusiones sobre toda la población, utilizando una misma muestra; el muestreo de aceptación consiste en la utilización de muestras aleatorizadas y definición de un subgrupo racional donde se maximice la posibilidad de encontrar diferencia entre las muestras, minimizando la posibilidad de encontrar de pasar por alto diferencias dentro de la muestra (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.7.3. Indicadores de Capacidad

Los índices de capacidad del proceso son estimaciones numéricas de la capacidad del proceso, que permite la comparación de diferentes procesos ya que no tienen unidades de medida (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006). Existen dos tipos de índices de capacidad de proceso, los que están relacionados con la variación a corto plazo, que son Cp y Cpk (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.7.4 Nivel Sigma del Proceso

Para realizar el cálculo del nivel sigma (σ) del proceso, Montgomery menciona que se deben cumplir los siguientes supuestos: (1) la característica de la calidad tiene una distribución normal, (2) el proceso está bajo control estadístico y (3) la media del proceso se encuentra centrada entre los límites superior e inferior de especificación (2006). A partir de la probabilidad de que los datos se encuentren dentro de los límites de especificación, se calculan el número de defectos por millón de partes (ppm) para luego relacionarlo con un nivel sigma.

2.7.5. Función de Operación Característica (Curva OC)

La curva OC proporciona una medida de la sensibilidad de la carta de control, es decir, su habilidad para detectar un corrimiento en la fracción disconforme del proceso del valor nominal "p" a algún otro valor "p"; se muestra como una gráfica de probabilidad de aceptar incorrectamente la hipótesis de control estadístico (error tipo II β). (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

$$\beta = P(p < UCL|p) - P(p \leq LCL|p)$$

$$\beta = \Phi \frac{UCL - p}{p(1-p)/n} - \Phi \frac{LCL - p}{p(1-p)/n}$$

Ecuación 14: Cálculo del Error tipo II; Gráfica OC para la Carta p

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.7.6. Longitud promedio de la corrida (ARL)

La longitud promedio de la corrida, es el número de muestras hasta que se produzca una falsa alarma (relacionado con la probabilidad del error tipo I), o también el número de muestras para detectar un corrimiento (relacionado con la probabilidad del error tipo II) (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006); las fórmulas utilizadas son las siguientes:

$$ARL_0 = \frac{1}{\alpha} \quad ARL_1 = \frac{1}{1 - \beta}$$

Ecuación 15: Cálculo del Error tipo II; Gráfica OC para la Carta p

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

2.7.7. Plan de Acción para Puntos fuera de Control

Secuencia de pasos para el control de proceso, el mismo que está generando resultados fuera de los parámetros de control en las respectivas cartas de control; el OCAP puede representarse a través de una tabla donde se identifican las causas asignables y las acciones correctivas o soluciones que se deberían realizar (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

3. CAPÍTULO III: DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y COMPRENSIÓN DE LOS PROCESOS INVOLUCRADOS AL DPTO. DE PLANTACIONES FORESTALES

3.1. Descripción de la Empresa

Novopan se dedica a la producción de tableros aglomerados de partículas de mediana densidad (MDP), y junto a Codesa y Plywood conforman el grupo Pelikano. Esta empresa fue creada en 1978, explorando un sector relativamente nuevo en el país; en la actualidad los principales competidores en la industria de tableros aglomerados a nivel nacional de Novopan son Acosa y Masisa, sin embargo la empresa se mantiene como líder, con una ocupación del mercado por encima del 50% (Rojas E., 2013). Adicionalmente, la empresa ha logrado importantes reconocimientos a nivel nacional y regional debido a sus altos volúmenes de venta e índices de crecimiento y rentabilidad; analizando el ejercicio fiscal del 2011 y con fecha de corte en agosto del 2012, se coloca a Novopan del Ecuador S. A. como el proveedor número 53 entre los más grandes del país, con ingresos operacionales mayores a 86 millones y una tasa de crecimiento anual del 35 % (SRI, 2013).

La planta actual de Novopan se encuentra ubicada en el sector de Itulcachi, en la parroquia de Pifo, y fue inaugurada en el septiembre del 2007, para de esta manera compensar la creciente demanda y generar importantes avances en temas de calidad y competitividad (Novopan, 2012); la empresa genera aproximadamente 370 empleos directos. La estructura organizacional de Novopan se muestra en el Anexo 1. Dentro de la producción de tableros aglomerados, se cuenta con diferentes productos, los mismos que se detallan en el Anexo 2.

Novopan ha desarrollado importantes modelos de gestión, donde se involucra: la calidad, responsabilidad ambiental y responsabilidad social; actualmente la empresa dispone de cuatro certificaciones que argumentan su preocupación por los temas mencionados. La gestión de calidad y mejoramiento continuo de sus procesos, desde la planeación forestal hasta la fabricación de tableros MDP han obtenido el certificado ISO 9001: 2008 (Novopan, 2012). La ISO 14001: 2004 muestra la gestión de impactos

significativos en el medio ambiente. De igual manera, la OSHAS 18001: 2007 demuestra que se manejan adecuadamente los conceptos de Seguridad y Salud Ocupacional. Y finalmente, la BASC (Business Alliance for Secure Commerce) reconoce que el comercio que mantiene la empresa con el extranjero se encuentra libre de cualquier sustancia contaminante o estupefaciente (Novopan, 2012). Todas estas certificaciones indican que la empresa se encuentra operando bajo objetivos claros, los cuales se indican en la misión de Novopan:

“Somos un grupo forestal camino a la excelencia que genera, procesa y optimiza el uso del recurso natural, creando productos de madera de alta calidad y valor agregado para satisfacer las necesidades de nuestros clientes, con alta tecnología, convirtiendo a nuestra empresa en autosustentable en el abastecimiento de su materia prima. Competimos dentro de las normas y conductas éticas para la superación y el bienestar de nuestro recurso humano, de los accionistas, la comunidad, respetando la naturaleza y la biodiversidad” (Novopan, 2012).

3.2. Cadena de Suministro de la Empresa

La cadena de suministro de Novopan involucra una serie de partes, que han podido ser identificadas y clasificadas en los grupos que se muestran en la Figura 7. En el Anexo 3 se muestra el gráfico de la Cadena de Suministro, donde se muestra todos los involucrados con mayor detalle.

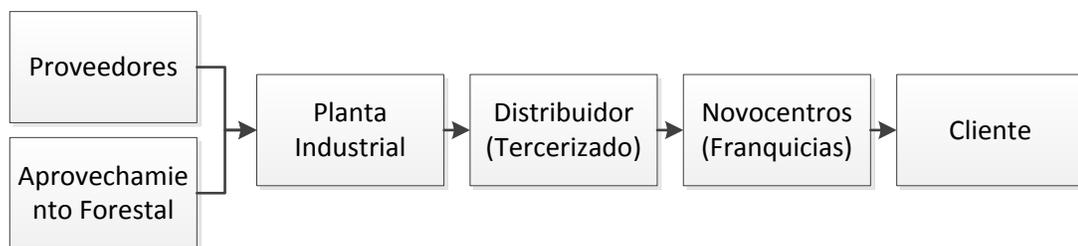


Figura 7: Cadena de suministro Novopan del Ecuador S. A.

Fuente: Generación propia

A continuación se describe cada uno de los grupos de la cadena de suministro de Novopan, al igual que sus principales funciones e implicaciones para la empresa:

3.2.1. Proveedores

La madera en sus distintos tipos (rolliza, jampa, lámina, aserrín y viruta) representa la principal materia prima que utiliza la empresa, sin embargo también se pudo identificar la utilización de otros productos de aprovisionamiento externo que resultan necesarios para la planta (Racines, 2013). En el Anexo 4 se muestran las materias primas que se utilizan en la planta, al igual que algunos de sus proveedores.

Para el 2012, Novopan registró el aprovisionamiento de madera a partir de más de 500 proveedores, la empresa ha dividido a sus proveedores de madera en tres categorías: proveedores asociados, terceros y plantaciones (propias y bajo consorcio) (Racines, 2013). (1) Los proveedores asociados refieren a bosques que se compran con contratos a largo plazo, donde Novopan ofrece el servicio de explotación y transporte. (2) Los terceros son proveedores que llevan cualquier tipo de madera hasta la planta de Novopan, donde se la comercializa. (3) Finalmente las plantaciones propias pueden ser propiedades de la empresa o consorcios con otras personas, donde se brinda las ayudas técnicas necesarias para el cultivo de los bosques.

Es necesario mencionar que Novopan mantiene dos proyectos con pequeños proveedores en la base de la pirámide, los cuales se relacionan con la responsabilidad social y ambiental que sostiene la empresa. Estos proyectos involucran a: (1) los proveedores de madera “Terceros”, y (2) a la formación de plantaciones bajo la modalidad de consorcios. En el Anexo 5 se muestra mayores detalles de estos proyectos que generan un beneficio colectivo, e incluso pueden representar una ventaja competitiva frente a otras empresas en la Industria.

3.2.2. Plantaciones Forestales

El área de plantaciones forestales de Novopan incluye a los Viveros de Itulcachi al igual que las plantaciones que se manejan en la empresa. Esta sección fue construida como una alternativa de garantizar el aprovisionamiento de madera a un largo plazo (Bustamante, 2012). En los Viveros de Itulcachi, se maneja la siembra de plantas a partir de semillas forestales, las cuales serán enviadas a las diferentes plantaciones de la empresa para su cultivo y futura cosecha.

3.2.3. Planta Industrial

En la planta de Novopan se realiza la elaboración de los tableros aglomerados, a partir del aprovisionamiento de madera y de otras materias primas previamente mencionadas en la sección de proveedores. El proceso productivo de la formación del aglomerado puede ser descrito a través de los siguientes pasos:

1. Recepción y Almacenaje de madera.
2. Molienda
3. Secado y Clasificación del material
4. Encolado y Formación del colchón
5. Prensado
6. Corte y Apilamiento
7. Lijado y Laminado
8. Embalaje y Despacho

(Novopan, 2012)

En el Anexo 6 se muestra la Lista Maestra de Procesos que se realizan en la planta de Novopan.

3.2.4. Distribución

Novopan no cuenta con una flota de transporte de manera que todos los servicios de transporte han sido tercerizados. El transporte de la madera como materia prima desde: proveedores asociados, plantaciones propias y plantaciones bajo consorcio es un costo con el cual incurre la empresa, sin embargo se contrata el servicio a otras compañías; de igual manera sucede con el transporte de los tableros aglomerados a sus distintos destinos (Rojas E. , 2013).

3.2.5. Almacenes

Para comienzos del 2013 existían 34 Novocentros, que son almacenes manejados bajo la modalidad de franquicias que a su vez pertenecen al grupo Pelikano; en estos locales se comercializan los diferentes tableros aglomerados, y ofrecen los siguientes servicios: (1) Cortes, (2) Asesoría en diseño, (3) Chapeado o canteado, (4) Bisagrado y (5) Servicio de entrega (Novopan, 2012).

3.2.6. Clientes

Novopan maneja ventas dentro y fuera del país, y se ha identificado los siguientes tipos de clientes:

- Clientes minoristas de tableros. Son aquellos que acceden directamente a los Novocentros para comprar los tableros elaborados en la planta.
- Clientes mayoristas de tableros. A nivel nacional, en la planta de Novopan se realiza la comercialización directa de tableros aglomerados en volúmenes altos; mientras que a nivel internacional se debe realizar el contacto con las oficinas de la empresa para la realización del contrato respectivo que manifiesta las condiciones (Rojas E. , 2013).
- Clientes de producto elaborado. Estos son las personas que compran los distintos productos en los que se utiliza a los tableros aglomerados como materia prima; representan los clientes indirectos de Novopan e incluyen principalmente a la industria de mueblería.

3.2.7. Flujo de Información

Existe una integración en el manejo de información entre: los Viveros de Itulcachi, Plantaciones propias, Novocentros y la Planta Industrial en vista de que todos estos involucrados pertenecen a la empresa Novopan del Ecuador S. A. o bien son manejados como franquicias para el caso de los Novocentros (Rojas E. , 2013). En la planta industrial de la empresa, el Dpto. de Plantaciones Forestales maneja la información de las plantaciones propias y bajo consorcio, y la información de los Viveros de Itulcachi; mientras que la Gerencia de Ventas maneja la información respectiva a los Novocentros.

3.3. Funcionamiento del Departamento de Plantaciones Forestales

El Dpto. de Plantaciones Forestales de Novopan funciona independientemente de los otros departamentos que se encuentran bajo la gerencia general (Mejía, 2013); tal como se muestra en el organigrama de la empresa en el Anexo 1. Esta área de la empresa se encarga de los procesos que se realizan en los viveros de Itulcachi, al igual que en las plantaciones de propiedad de la empresa, o que funcionan bajo la modalidad

de convenio; desde la siembra de las semillas, hasta que los árboles están listos para ser explotados. En la Figura 8 se muestran los macro procesos de los que se encarga el Dpto. de Plantaciones Forestales.

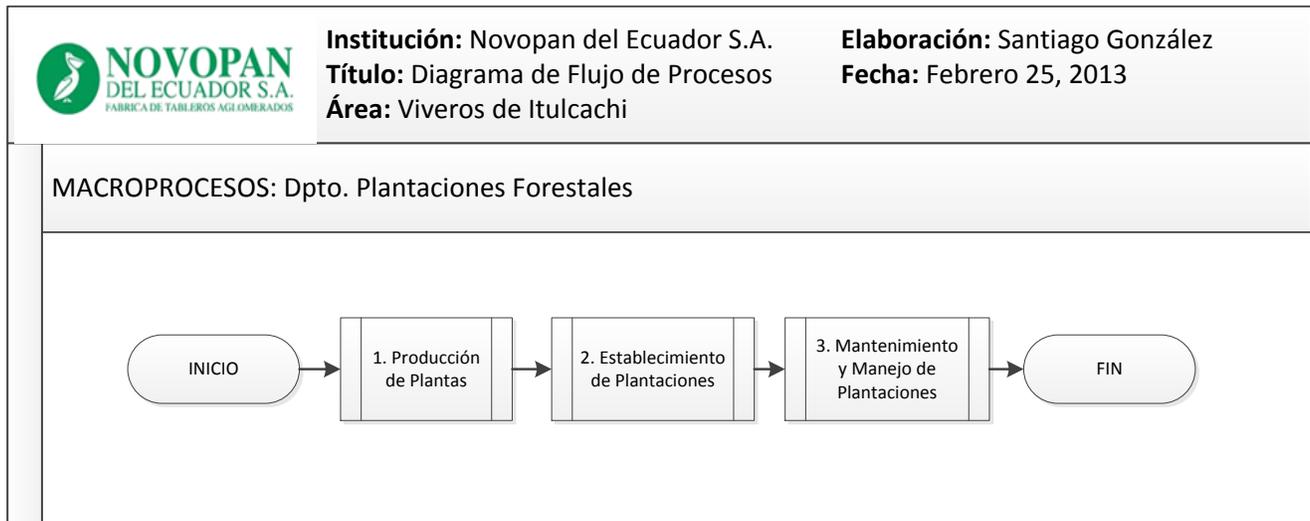


Figura 8: Macro procesos del Dpto. de Plantaciones Forestales de Novopan del Ecuador S.A.

Fuente: Generación propia.

Se realizó el levantamiento de procesos a través de flujogramas para cada uno de los tres macro procesos que realiza el Dpto. de Plantaciones Forestales: (1) Producción de Plantas, (2) Establecimiento de Plantaciones y (3) Mantenimiento y Manejo de Plantaciones. Para el primer macro proceso, se lo realiza en los Viveros de Itulcachi, mientras que para los macro proceso 2 y 3 se emplea las plantaciones de propiedad de la empresa y aquellas que funcionan bajo convenio; a continuación se muestra una tabla con el patrimonio forestal de Novopan y también convenios que se tienen a enero del 2013:

Año	Hacienda	Modalidad	Especie(s) Sembradas	Sup.Total (Has)
1	San José	Propio	Pino	348
2	Itulcachi	Propio	Pino y eucalipto	861,82
3	Nueva Aurora	Propio	Eucalipto, Pachaco, Pino y Laurel	60
4	Tulugchi	Propio	Pino	300
5	Barrancas	Propio	Pino	570
6	Los Corrales	Propio	Pino	320
7	Coturco	Propio	Pino	80
8	Pisangacho	Propio	Eucalipto, Pino y Cipres	511
9	Chinipamba	Propio	Pino	371
10	La Merced	Propio	Eucalipto	212
11	Jatunloma	Convenio	Pino	150
12	Cuchitingue	Convenio	Pino	1.000,00
13	Guagrahuas i	Convenio	Pino	400
14	S.R.Patichu bamba	Convenio	Pino	300
15	Oro Verde	Convenio	Tropical	20
16	Total			5.503,82

Tabla 2: Lista de Plantaciones Disponibles para Siembras Enero-2013

Fuente: Generación propia, a partir de Información proporcionada por el Dpto. de Plantaciones en Novopan.

En el Anexo 8 se muestra un mapa con la ubicación aproximada de las plantaciones mencionadas en la tabla anterior.

3.3.1. Producción de Plantas

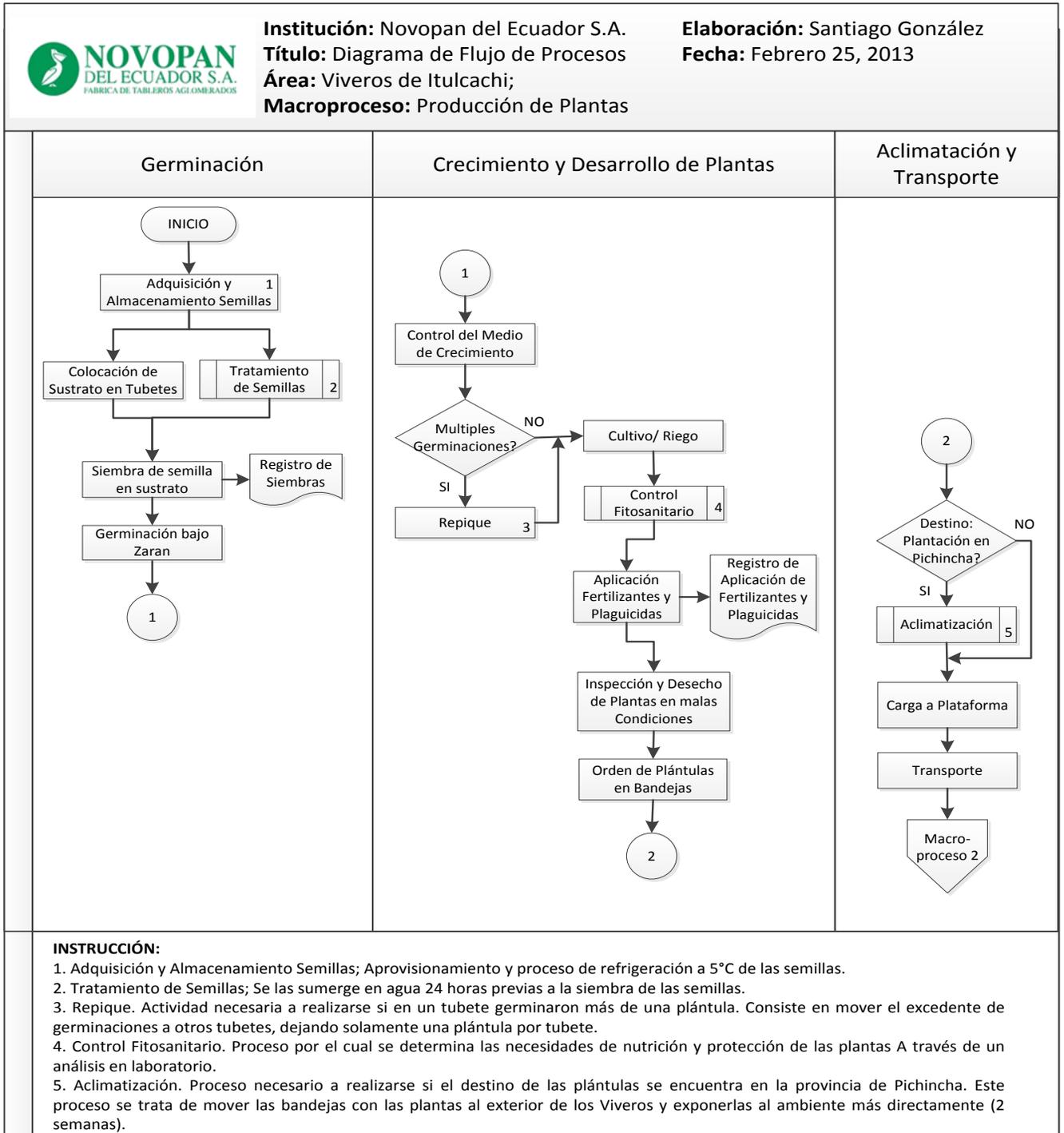


Figura 9: Flujograma Producción de Plantas en los Viveros de Itulcachi

Fuente: Generación propia.

3.3.2. Establecimiento de Plantaciones

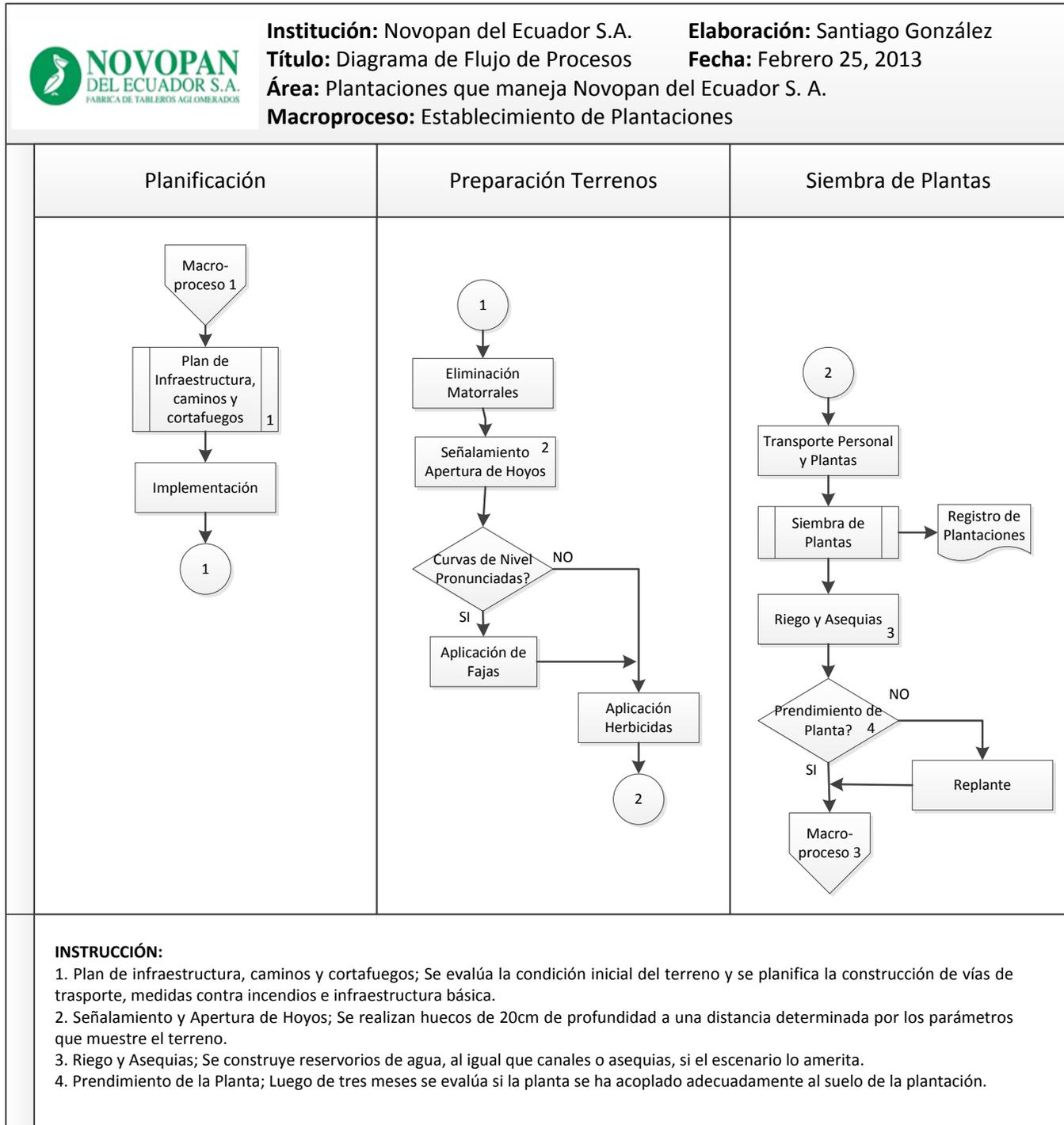


Figura 10: Flujograma Establecimiento de Plantaciones

Fuente: Generación propia.

3.3.3. Mantenimiento y Manejo de Plantaciones

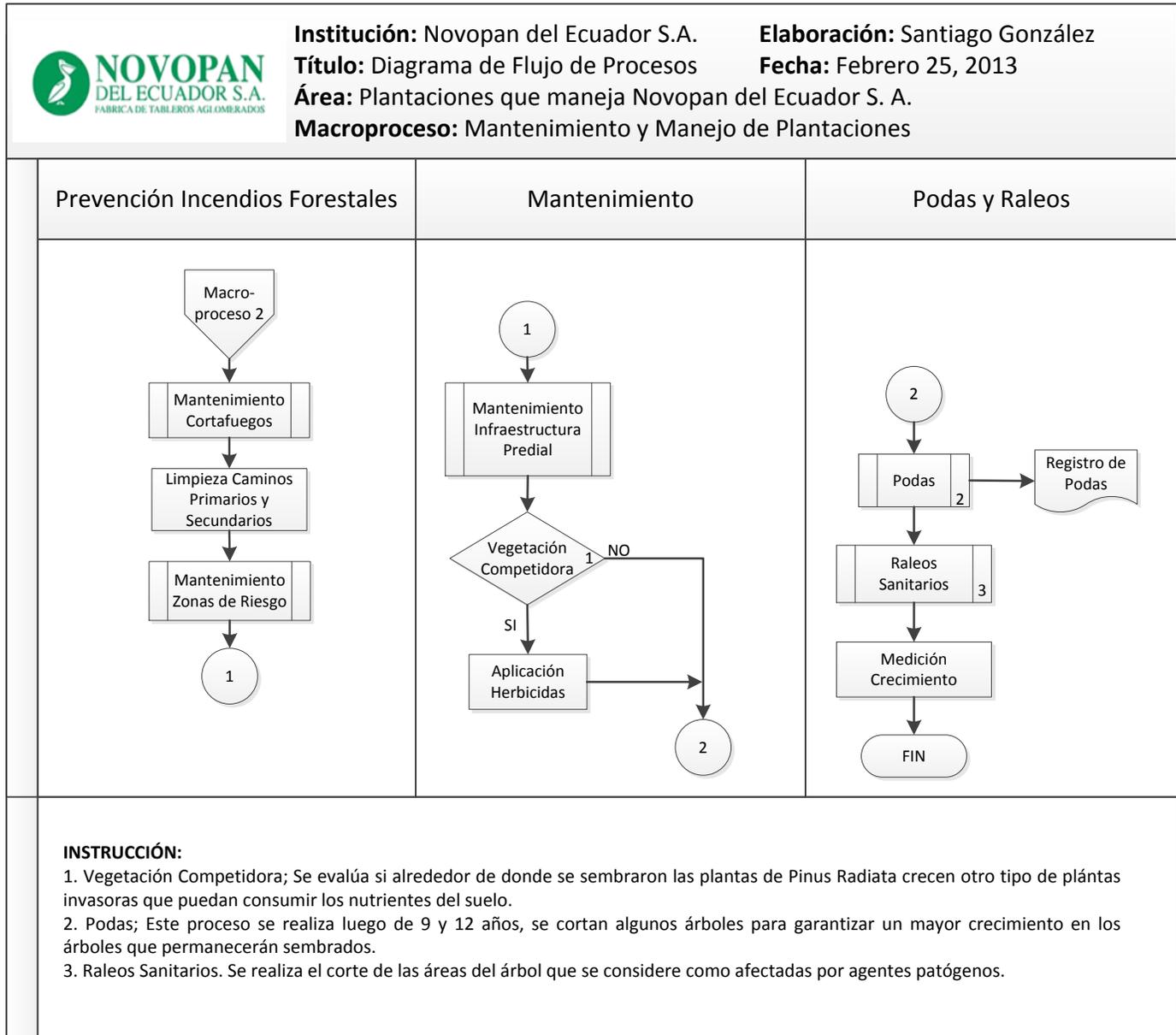


Figura 11: Flujograma Mantenimiento y Manejo de Plantaciones

Fuente: Generación propia.

3.4. Detalle de los Procesos en los Viveros de Itulcachi

En vista de que el presente proyecto limita su alcance a los Viveros de Itulcachi, se realizó un mayor análisis de todas las actividades que se realizan en esta zona; en la Figura 9 ya se muestra el flujo de operaciones para la producción de plantas. También se levantó una Lista Maestra de Procesos para los Viveros, a partir de la información que se obtuvo por parte del Dpto. de Plantaciones; en la siguiente tabla se muestra los Procesos Gobernantes, productivos y habilitantes que se pudieron identificar, al igual que sus respectivos subprocesos:

Macro Procesos:	Procesos:	Subprocesos:	Código
Gobernantes	Auditoría Interna		G2AI-0
	Planificación Estratégica		G2PE-0
	Gestión Ambiental		G2GA-0
Productivos	Pedidos		P3PD-0
	Germinación	Tratamiento Semillas	P3GR-1
		Colocación Sustrato en Tubetes	P3GR-2
		Siembra de Semillas	P3GR-3
		Colocación de Zarán	P3GR-4
	Cultivo	Repique	P3CL-1
		Nutrición	P3CL-2
		Inspección	P3CL-3
	Aclimatización		P3AC-0
	Despachos	Embalaje	P3DP-1
Envío del Producto		P3DP-2	
Habilitantes	Compras	Importaciones	H3CP-1
		Semillas y Sustrato	H3CP-2
		Insumos	H3CP-3
	Gestión Forestal	Plantaciones	H3GF-1
		Manejo y Explotación Forestal	H3GF-2
	Gestión de Bodegas	Recepción del Material	H3GB-1
		Bodega de Químicos	H3GB-2
		Bodega de Combustibles y Lubricantes	H3GB-3
		Bodega de Residuos Reutilizables	H3GB-4
	Gestión Recurso Humano		H3RH-0
Gestión Financiera		H3GF-0	

Tabla 3: Lista Maestra de Procesos para el Dpto. de Plantaciones Forestales

Fuente: (Olmedo, 2013); Jefe de Viveros

A partir de la lista maestra de procesos se pudo construir la cadena de valor, donde se identificaron claramente todas las actividades involucradas que generan valor

y satisfacción en el cliente directo de los Viveros de Itulcachi, es decir, las plantaciones de Novopan o aquellas que funcionan bajo la modalidad de convenio. A continuación se muestra la cadena de valor:

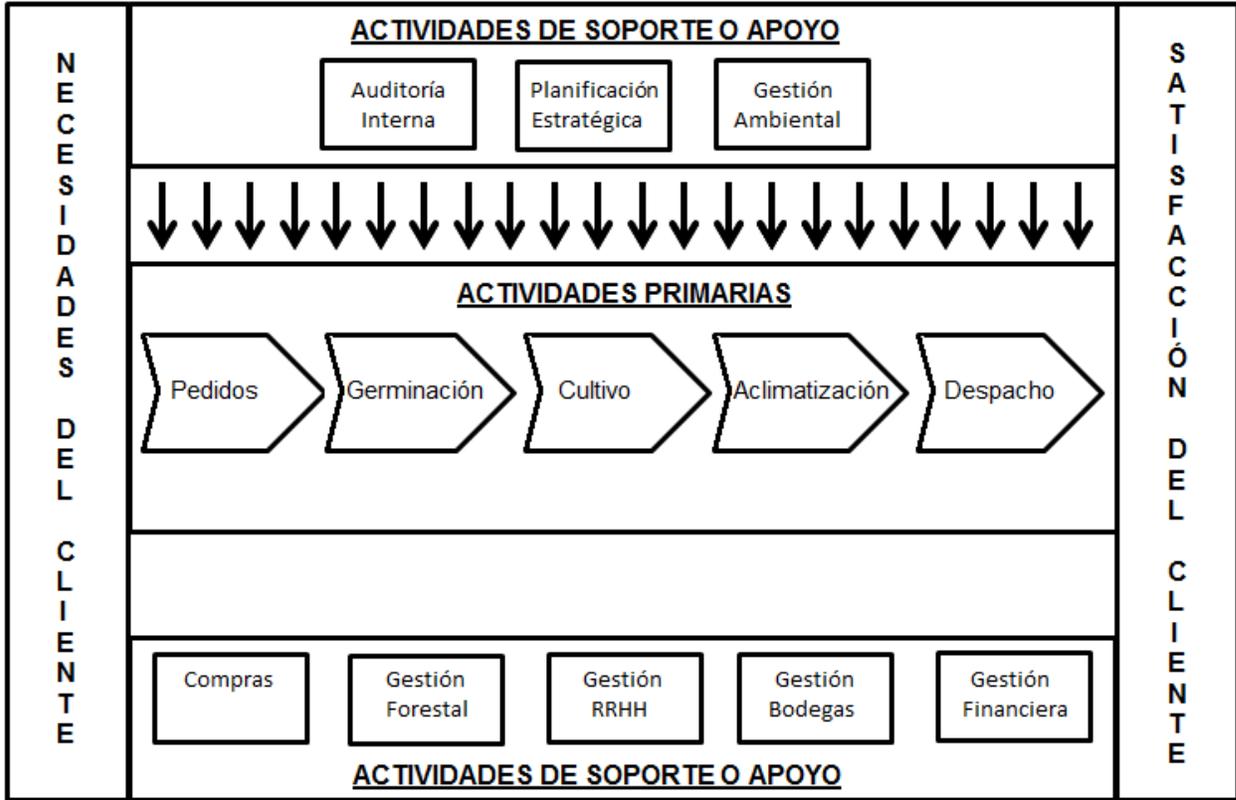


Figura 12: Cadena de Valor Viveros de Itulcachi

Fuente: Generación propia.

Para continuar con el levantamiento de información en los Viveros de Itulcachi, se identificó a través de un Diagrama SIPOC, los proveedores, entradas, salidas, clientes y recursos que se relacionan con la producción de plantas en los Viveros de Itulcachi; ver Figura 13.

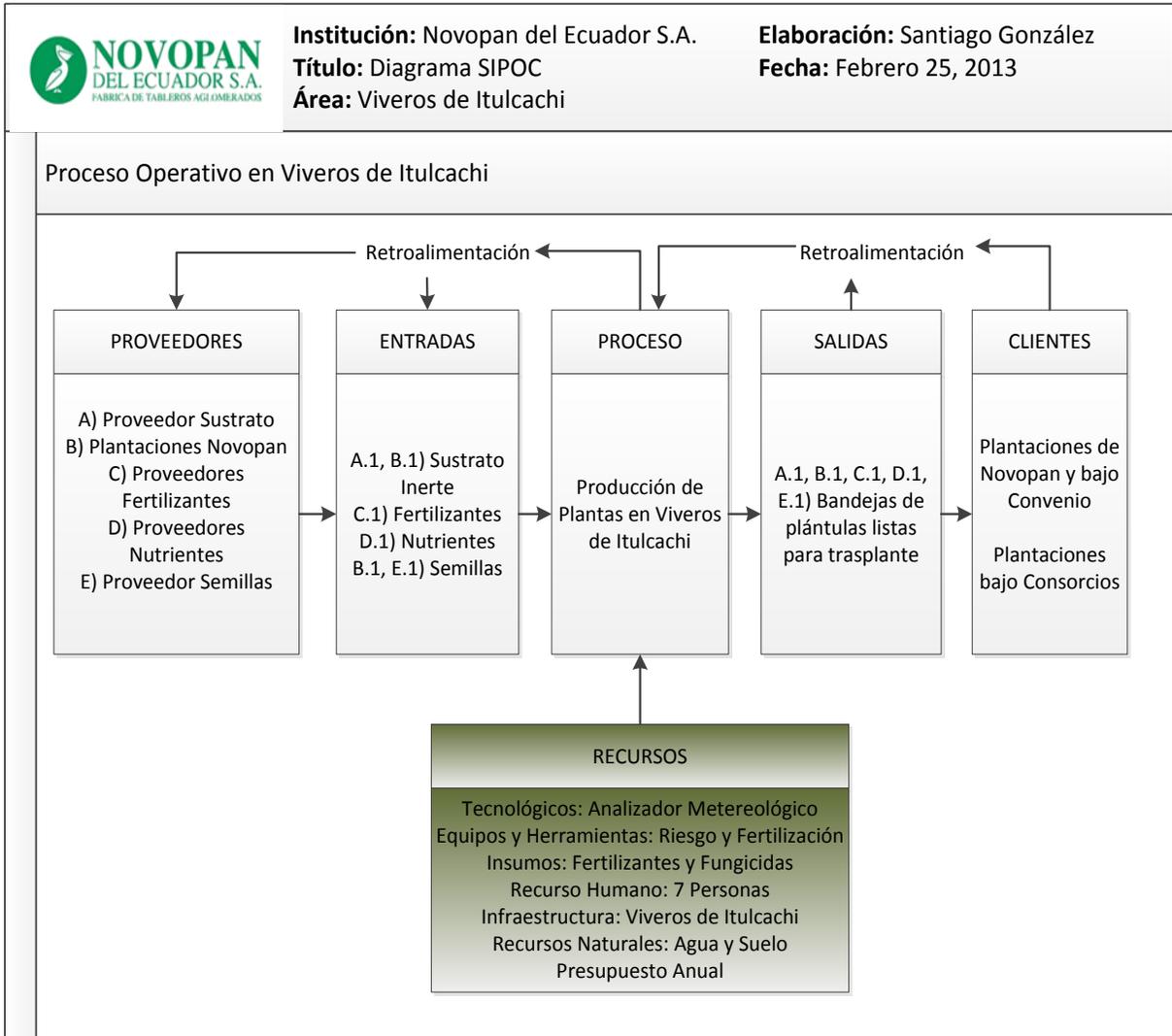


Figura 13: Diagrama SIPOC en Procesos Operativos en los Viveros de Itulcachi

Fuente: Generación propia.

4. CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA SITUACIÓN ACTUAL; VIVEROS DE ITULCACHI

4.1. Situación Actual de los Viveros de Itulcachi

En esta sección se detalla cómo se están manejando actualmente los Viveros de Itulcachi, tomando como referencia el flujograma de producción de plantas, Figura 9, y la cadena de valor para los procesos en los Viveros, Figura 12.

4.1.1. Pedidos

Los Viveros de Itulcachi funcionan bajo un sistema similar a la producción Pull, es decir, solo se comienza con la producción de las plantas, cuando ingresa una orden donde se especifican la cantidad de plantas necesarias para las plantaciones. El mismo Dpto. de Plantaciones Forestales es quien se encarga de realizar el pedido en función del espacio disponible para la forestación en las plantaciones propias de la empresa y bajo convenio; se estima que aproximadamente se necesitan 1600 plantas por cada hectárea disponible para el cultivo forestal (Mejía, 2013). Es necesario mencionar que en los Viveros, se siembran una mayor cantidad del número pedido de plantas, ya que siempre existe un margen entre 15% y 25% de mortalidad (Mejía, 2013). También es importante coordinar que la producción de plantas no salgan del vivero en temporadas de sequía en el sector, y es por esta razón que existe un período de nueve meses donde se realizan las respectivas siembras (Mejía, 2013).

4.1.2. Germinación

La etapa de germinación juega un papel fundamental, ya que determina el comienzo del ciclo de producción de plantas y también involucra los mayores esfuerzos por parte del recurso humano (Olmedo, 2013). Para la etapa de Germinación, se parte desde el aprovisionamiento de semillas certificadas de *Pinus Radiata* desde la región de Chillán en Chile; las mismas que son desinfectadas con fungicidas apropiados como Vitabax, y luego se almacenan en una nevera a 5°C para alargar su vida útil (Olmedo, 2013). Por otro lado el aprovisionamiento de sustrato se realiza a través de una comercializadora que trae la turba inerte Berger Peat Moss directamente desde Canadá (Mejía, 2013). El siguiente paso consiste en colocar la turba inerte en los

tubetes⁷, que son recipientes donde se realiza todo el proceso de germinación y cultivo en los Viveros de Itulcachi; en la Figura 14 se muestra una bandeja de tubetes de 6x9.



Figura 14: Tubetes para Viveros Forestales

Fuente: (Agromat, 2011)

Los Viveros de Itulcachi cuentan con bandejas de tubetes de 12x8 (96), y en cada bancal⁸ entran 48 o 60 bandejas de tubetes, obteniendo por resultado una capacidad para sembrar 4608 y 5760 plantas por bancal. La capacidad de los dos invernaderos que se destinan a la producción de plantas es equivalente a 1.077.120 tubetes.

La etapa de emergencia para el *Pinus Radiata* dura aproximadamente 21 días desde su siembra, este período de tiempo es relativamente bajo para la obtención de resultados, por lo que el número de plantas que emergen a la superficie del sustrato, podría ser un importante indicador para mostrar el desempeño de esta etapa inicial.

⁷ Recipiente plástico desprendible, donde se coloca el sustrato y una sola semilla, para comenzar con el proceso de germinación (Olmedo, 2013).

⁸ Mesa donde se colocan las bandejas de tubetes (Olmedo, 2013); los Viveros de Itulcachi cuentan dos tipos de bancales, de capacidad para 48 bandejas y de capacidad para 60 bandejas.

4.1.3. Cultivo

Las plantas de *Pinus Radiata* atraviesan la etapa de germinación y cultivo después de 3 a 4 meses (Mejía, 2013). En la etapa de cultivo se maneja el riego por aspersión de acuerdo a la perspectiva que tiene el operario, es decir, no existe una medida exacta ni control alguno para determinar la dosis necesaria de riego; se estima que al día aproximadamente se encienden los dispersores entre 5 a 10 minutos (Olmedo, 2013). En la etapa de cultivo se utilizan insumos como fertilizantes y fungicidas, de los cuales se encontró los siguientes:

- Trichoderma NeoControl
- Organic Root
- Fungicida Belkute
- Fertilizante Iokei Nugget,
- Entre otros.

En el área de los Viveros de Itulcachi, se puede localizar áreas designadas para todo el almacenamiento de distintos productos, de manera que se cuenta con bodegas independientes para productos químicos, combustibles y Lubricantes, y también residuos reutilizables, de esta manera se evidencia el manejo de acuerdo a normas de seguridad y otras certificaciones internacionales.

4.1.4. Aclimatación

El proceso de aclimatación se realiza en los viveros de Itulcachi únicamente si la plantación a donde se van a llevar las plantas de *Pinus Radiata*, se encuentra sobre los 2800 metros sobre el nivel del mar, caso contrario la aclimatación de las plantas se efectúa en las respectivas plantaciones; el proceso de aclimatación dura entre 4 a 5 meses para el *Pinus Radiata* (Olmedo, 2013).

4.1.5. Despacho

Para el despacho de las plantas, se sacan a las plantas de los tubetes, de manera que el sustrato que se encontraba en el tubete salga impregnado a las raíces de la planta; luego se colocan las plantas en bandejas o cajas, y se suben a

plataformas o camiones para el transporte a las respectivas plantaciones (Olmedo, 2013).

4.2. Análisis Causal en los Viveros de Itulcachi

En la anterior sección se pudo describir los procesos operativos implicados en la producción de plantas, y a través de un análisis causal de la situación actual en los Viveros de Itulcachi se buscó identificar las causas principales que generan los problemas más relevantes en los procesos operativos.

En este punto se analizan problemas vinculados directamente con el desempeño y producción que se tienen en los Viveros de Itulcachi, de manera que se ha determinado a la mortalidad de las plantas es el principal factor que influye en la mayoría de viveros forestales (Mera, 2012); en un conversatorio con el personal que opera en los Viveros de Itulcachi, se corroboró que la mortalidad de plantas es el principal problema (Itta, 2013). Las plantas que no pueden ser producidas adecuadamente en los Viveros, representan un desperdicio de recursos y a su vez un costo para la empresa; es por esta razón que a través de este proyecto se buscó desarrollar una propuesta para mejorar la producción de los Viveros de Itulcachi, reduciendo este problema potencial

Las herramientas que se utilizaron a continuación fueron el árbol de eventos y el diagrama de causa y efecto, con la intención de encontrar la forma de reducir la mortalidad de las plantas en los Viveros de Itulcachi, y determinar las principales causas de este problema.

4.2.1. **Árbol de Eventos; Mortalidad de Plantas en Viveros de Itulcachi**

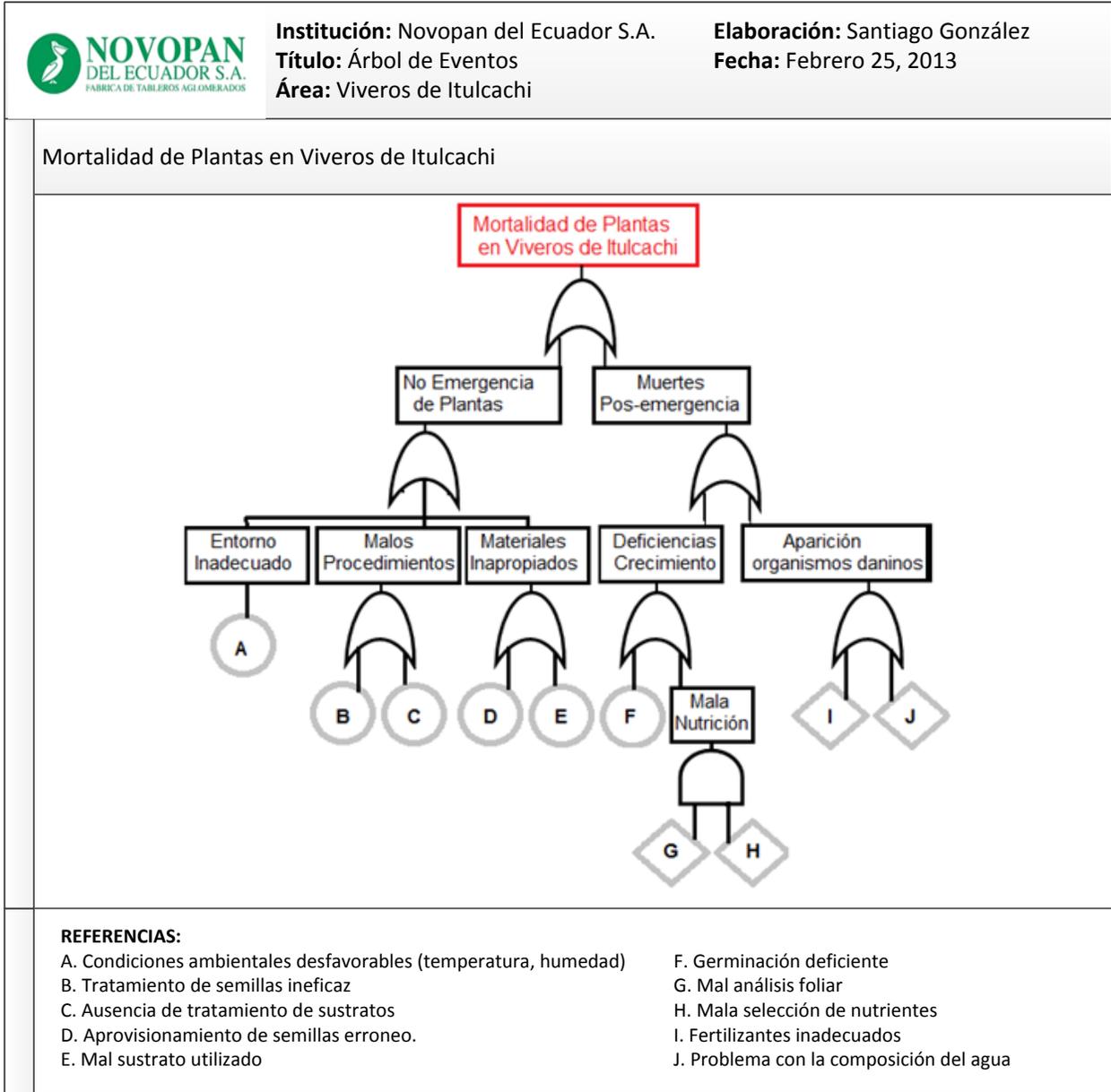


Figura 15: Árbol de Eventos para la Mortalidad de Pinus Radiata en los Viveros de Itulcachi.

Fuente: Generación propia

El árbol de eventos muestra que la mortalidad de las plantas se puede deber a dos causas: la no emergencia de las plantas y la muerte post emergencia; para el caso

de los Viveros de Itulcachi en enero del 2013, el 81% de semillas de *Pinus Radiata* emergen adecuadamente luego de 21 días, y las muertes post emergencia se estiman en un 5% (Mejía, 2013). En vista de esta información proporcionada por el personal del Dpto. de Plantaciones Forestales de Novopan, el proyecto se encaminó en a aumentar el porcentaje de emergencia hasta el día 21, ya que esta era la principal causa para la mortalidad de las plantas.

4.2.2. Diagrama Causa y Efecto; Bajo Porcentaje de Emergencia

En el árbol de eventos de la sección anterior se puede observar que la no emergencia de plantas se puede deber a: un entorno inadecuado, malos procedimientos o materiales inadecuados, y cada uno de estos grupos muestra sus respectivas subcausas. Para complementar el análisis de las causas que influyen en el bajo porcentaje de emergencia hasta los 21 días se elaboró un Diagrama de Causa y Efecto o Diagrama de Ishikawa, el mismo que se muestra a continuación:

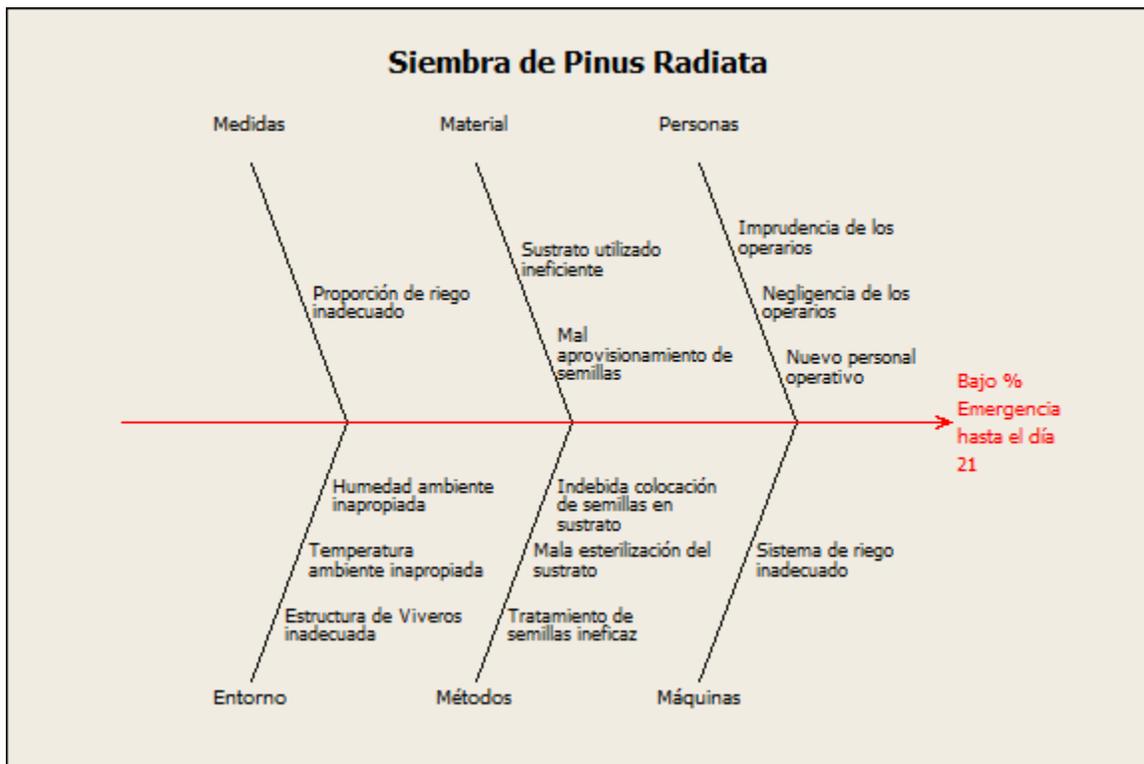


Figura 16: Diagrama Causa-Efecto para el Bajo Porcentaje de Emergencia en *Pinus Radiata* luego de 21 días.

Fuente: Generación propia

A través del Diagrama Causa y Efecto realizado se pudieron identificar trece causas potenciales que se pueden relacionar con los bajos porcentajes de emergencia para la especie *Pinus Radiata*; En el Anexo 7 se muestran las causas y subcausas que pueden inferir en esta medida de desempeño en la mortalidad de las plantas.

4.3. Indicadores de Desempeño Utilizados en los Viveros de Itulcachi Actualmente

En esta sección se pudo encontrar que los reportes históricos de la empresa en los Viveros de Itulcachi muestran la cantidad de semillas utilizadas en cada una de las siembras desde enero del 2011 hasta la actualidad (enero-2013). Y también se pudo identificar dos indicadores del desempeño que han sido utilizados cada cierto tiempo (evaluación de una muestra cada 6 meses), sin embargo no se les ha sacado provecho para proyectos de mejora continua; estos indicadores son: (1) Porcentaje de Emergencia luego de 21 días y (2) Crecimiento durante 2 primeros meses.

4.3.1. Indicador Semillas Utilizadas en siembras

En la siguiente tabla se muestran todas las siembras realizadas desde enero del 2011 a enero del 2013, donde se puede observar que en los Viveros de Itulcachi se sembraron más de 2 millones de planta en estos últimos 3 años, sin embargo Novopan ha invertido en equipos e infraestructura durante el último año, lo cual ha permitido duplicar la capacidad a 2.154.240 plantas por año (Mejía, 2013).

Mes	P. Radiata		E. Glóbulus	
	Cantidas Semillas gr.	Cantidad de Jiffys Tubetes Fudas	Cantidas Semillas gr.	Cantidad de Jiffys Tubetes Fudas
ene-11	1020	24960	500	29376
feb-11	1210	28992	300	17280
mar-11	400	9794		
abr-11	5040	113200	100	8848
may-11	3010	108026		
jun-11	4700	115765		
jul-11	3090	70507	530	44926
ago-11	4090	104302		
may-12	2800	72576		
jun-12	2600	63360		
sep-12			1100	115200
oct-12			7500	713088
ene-13	13150	352512		
TOTAL	41110	1063994	10030	928718

Tabla 4: Siembras entre enero 2011 y enero 2013

Fuente: Carlos Olmedo; Jefe de Viveros

4.3.2. Indicador Porcentaje de Emergencia en 21 Días

En los Viveros de Itulcachi se realiza el aprovisionamiento de semillas certificadas como ya se mencionó anteriormente, es decir, la empresa que vende las semillas a Novopan, garantizan cierto porcentaje de germinación a los 21 días (Olmedo, 2013). El porcentaje de emergencia está directamente relacionado con el porcentaje de germinación e implica que de la semilla brote un tallo que sobresalga por la superficie del sustrato (Fraume, 2007). El porcentaje de emergencia es fácilmente medible, sin la necesidad de ninguna herramienta y se calcula a partir del número de plantas no emergidas en 21 días, tal como lo muestra la Ecuación 1.

$$\text{Porcentaje Emergencia} = \frac{(\text{Semillas Sembradas} - \text{Plantas No emergidas})}{\text{Semillas Sembradas}}$$

Ecuación 16: Cálculo del Porcentaje de emergencia

Fuente: Generación propia.

Para evaluar este tipo de indicador y en vista de que no existen datos históricos, se realizó todo el proceso de medición y análisis de los datos. El 8 de marzo (2013) se recolectaron los datos referentes al número de plantas no emergidas por bandeja de tubetes (96 tubetes cada una) en cinco diferentes bancales aleatoriamente seleccionados del lote de producción, todos los bancales fueron sembrados el 15 de febrero; los datos recolectados se muestran en la Tabla 5. A partir de esta información y empleando la Ecuación 1 se pudo determinar los porcentajes de emergencia, los mismos que se muestran en la Tabla 6. En este punto es necesario mencionar que para continuar con el análisis estadístico de los datos recogidos se eliminaron cuatro datos considerados como irrelevantes, los mismos que se marcaron en las respectivas tablas. Para finalizar se obtuvieron los principales estadísticos que refieren al porcentaje de emergencia para la muestra seleccionada, en la Tabla 7 se muestran los resultados obtenidos a partir de Minitab 16.

En la sección 5.3.2.1 se muestra otro análisis estadístico realizado sobre el porcentaje de emergencia, un análisis de varianza para determinar si el bancal tiene alguna influencia sobre el porcentaje de emergencia por bandeja de tubetes.

Bancal 1		Bancal 2		Bancal 3		Bancal 4		Bancal 5	
20	20	20	19	17	17	20	21	19	18
13	23	26	14	13	7	24	14	14	20
16	31	10	20	24	14	20	7	15	32
14	18	14	17	18	14	18	16	14	16
17	19	23	24	30	19	21	30	16	17
24	18	12	13	11	17	25	24	21	16
18	29	17	14	18	14	21	29	17	29
19	24	14	13	21	10	6	17	17	20
9	25	11	11	15	14	12	13	13	21
21	26	18	31	23	14	11	20	19	22
14	25	23	25	26	40	19	18	14	21
12	22	14	22	15	18	25	26	13	19
17	23	24	22	26	26	10	27	16	19
21	19	17	17	13	11	9	14	19	17
19	14	17	7	21	29	21	27	17	12
20	15	13	25	15	14	22	24	18	14
14	16	42	20	17	12	15	13	14	14
17	13	17	19	19	25	12	22	15	13
18	16	21	14	10	17	25	12	16	14
15	26	17	14	19	17	12	23	14	21
12	23	13	18	25	12	49	15	13	19
21	19	19	16	24	19	20	14	19	17
21	27	21	13	38	10	24	9	19	24
13	28	11	16	19	19	16	14	13	31

Tabla 5: Plantas no emergidas por bandeja luego de 21 días para el Pinus Radiata.

Fuente: Recolección propia.

Bancal 1		Bancal 2		Bancal 3		Bancal 4		Bancal 5	
0,79	0,79	0,79	0,80	0,82	0,82	0,79	0,78	0,80	0,81
0,86	0,76	0,73	0,85	0,86	0,93	0,75	0,85	0,85	0,79
0,83	0,68	0,90	0,79	0,75	0,85	0,79	0,93	0,84	0,67
0,85	0,81	0,85	0,82	0,81	0,85	0,81	0,83	0,85	0,83
0,82	0,80	0,76	0,75	0,69	0,80	0,78	0,69	0,83	0,82
0,75	0,81	0,88	0,86	0,89	0,82	0,74	0,75	0,78	0,83
0,81	0,70	0,82	0,85	0,81	0,85	0,78	0,70	0,82	0,70
0,80	0,75	0,85	0,86	0,78	0,90	0,94	0,82	0,82	0,79
0,91	0,74	0,89	0,89	0,84	0,85	0,88	0,86	0,86	0,78
0,78	0,73	0,81	0,68	0,76	0,85	0,89	0,79	0,80	0,77
0,85	0,74	0,76	0,74	0,73	0,58	0,80	0,81	0,85	0,78
0,88	0,77	0,85	0,77	0,84	0,81	0,74	0,73	0,86	0,80
0,82	0,76	0,75	0,77	0,73	0,73	0,90	0,72	0,83	0,80
0,78	0,80	0,82	0,82	0,86	0,89	0,91	0,85	0,80	0,82
0,80	0,85	0,82	0,93	0,78	0,70	0,78	0,72	0,82	0,88
0,79	0,84	0,86	0,74	0,84	0,85	0,77	0,75	0,81	0,85
0,85	0,83	0,56	0,79	0,82	0,88	0,84	0,86	0,85	0,85
0,82	0,86	0,82	0,80	0,80	0,74	0,88	0,77	0,84	0,86
0,81	0,83	0,78	0,85	0,90	0,82	0,74	0,88	0,83	0,85
0,84	0,73	0,82	0,85	0,80	0,82	0,88	0,76	0,85	0,78
0,88	0,76	0,86	0,81	0,74	0,88	0,49	0,84	0,86	0,80
0,78	0,80	0,80	0,83	0,75	0,80	0,79	0,85	0,80	0,82
0,78	0,72	0,78	0,86	0,60	0,90	0,75	0,91	0,80	0,75
0,86	0,71	0,89	0,83	0,80	0,80	0,83	0,85	0,86	0,68

Tabla 6: Porcentaje de emergencia luego de 21 días para el Pinus Radiata.

Fuente: Generación propia.

Descriptive Statistics: Porcentaje Emergencia					
Variable	N	Mean	SE Mean	StDev	
Porcentaje Emergencia	240	0,81102	0,00357	0,05531	
Variable	Minimum	Q1	Median	Q3	Maximum
Porcentaje Emergencia	0,66667	0,78125	0,81250	0,85417	0,93750

Tabla 7: Resultados de Minitab 16 del Análisis Estadístico para el Porcentaje de Emergencia

Fuente: Generación propia

Para observar de mejor manera el comportamiento del porcentaje de emergencia del *Pinus Radiata* luego de 21 días, se elaboró un Diagrama de Caja y Bigotes, donde se muestran algunos de los estadísticos referentes a la dispersión de los valores que se mostraron en la Tabla 7.

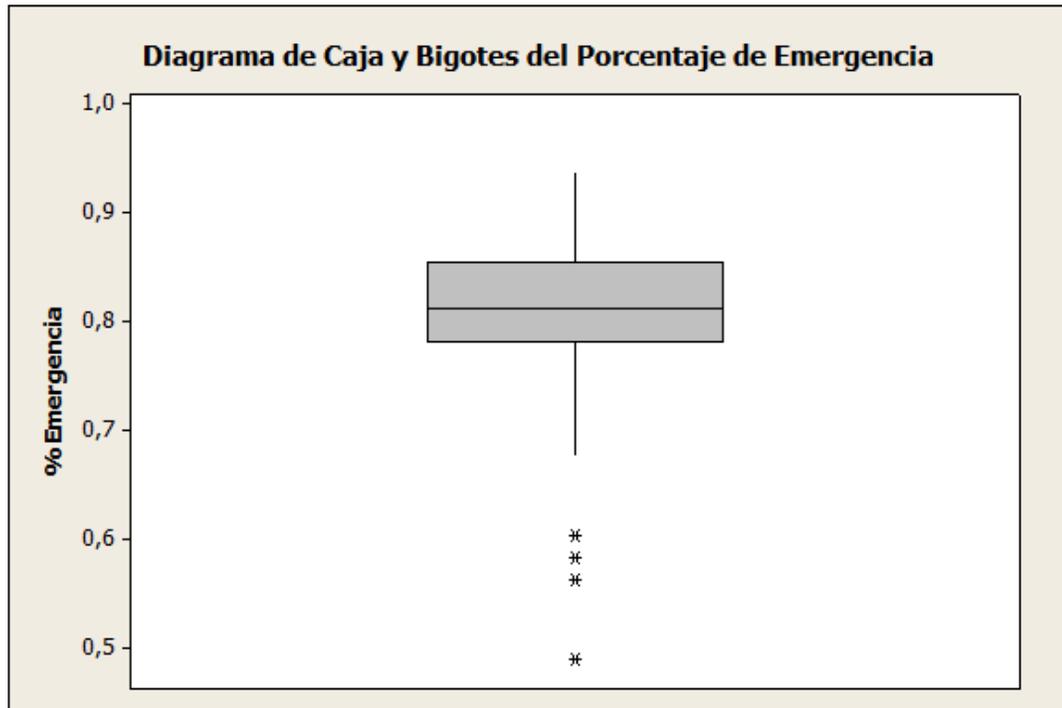


Figura 17: Diagrama de Caja y Bigotes del Porcentaje de Emergencia luego de 21 días para el *Pinus Radiata*.

Fuente: Generación propia.

A través de este diagrama se puede observar que existen cuatro valores atípicos, los mismos que fueron resaltados en la Tabla 5 y en la Tabla 6. Ignorando los valores atípicos se nota cierta simetría en la dispersión de los datos desde sus valores mínimo y máximo, hasta su media. Por último se puede resaltar que el rango intercuartil (Q3-Q1) para el Porcentaje de Emergencia luego de 21 días para el *Pinus Radiata* es de 0,07; es decir el 50% de la población presenta un porcentaje de emergencia entre 0,78% y 0,85%.

4.3.3. Indicador Crecimiento durante los dos primeros meses

Este último indicador ha sido evaluado en pocas ocasiones por parte del Dpto. de Plantaciones Forestales, en la Tabla 8 se muestran los resultados obtenidos para el desarrollo del Eucalyptus Glóbulus, no se encontraron registros que respecten al Pinus Radiata. Este tipo de indicador podría mostrar de manera más precisa el desempeño de las plantas que se producen en los viveros, sin embargo en un conversatorio con los operarios de los viveros, se determinó que este indicador resulta ineficiente debido a los largos tiempos que se debería emplear para medir el crecimiento de más de dos millones de plantas que se producen al año en los Viveros de Itulcachi.

Cod. Semilla	28-oct	10-nov	24-nov	01-dic	15-dic	29-dic	05-ene	OBSERVACIONES
S3Eg112	0,3mil	0,5mil	8mil	1,2cm	2cm	2,8cm	3,5	SEMILLA CON GERMINACION 71%

Tabla 8: Crecimiento Eucalyptus Glóbulus

Fuente: Carlos Olmedo; Jefe de Vivero

5. CAPÍTULO V: OPTIMIZACIÓN EN LA ETAPA DE GERMINACIÓN

5.1. Identificación del Alcance y Detalle del Problema

Al revisar los registros de los últimos meses del Dpto. de Plantaciones Forestales en la empresa, se pudo limitar el alcance del proyecto en cuanto a especies de plantas y al período de estudio.

A continuación se realizó un Diagrama de Pareto para las especies que se cultivan en los Viveros de Itulcachi, y la frecuencia o cantidad de plantas; tal como se muestra a continuación, el Pinus Radiata y el Eucaliptus Glóbulus representan el 94,6%.

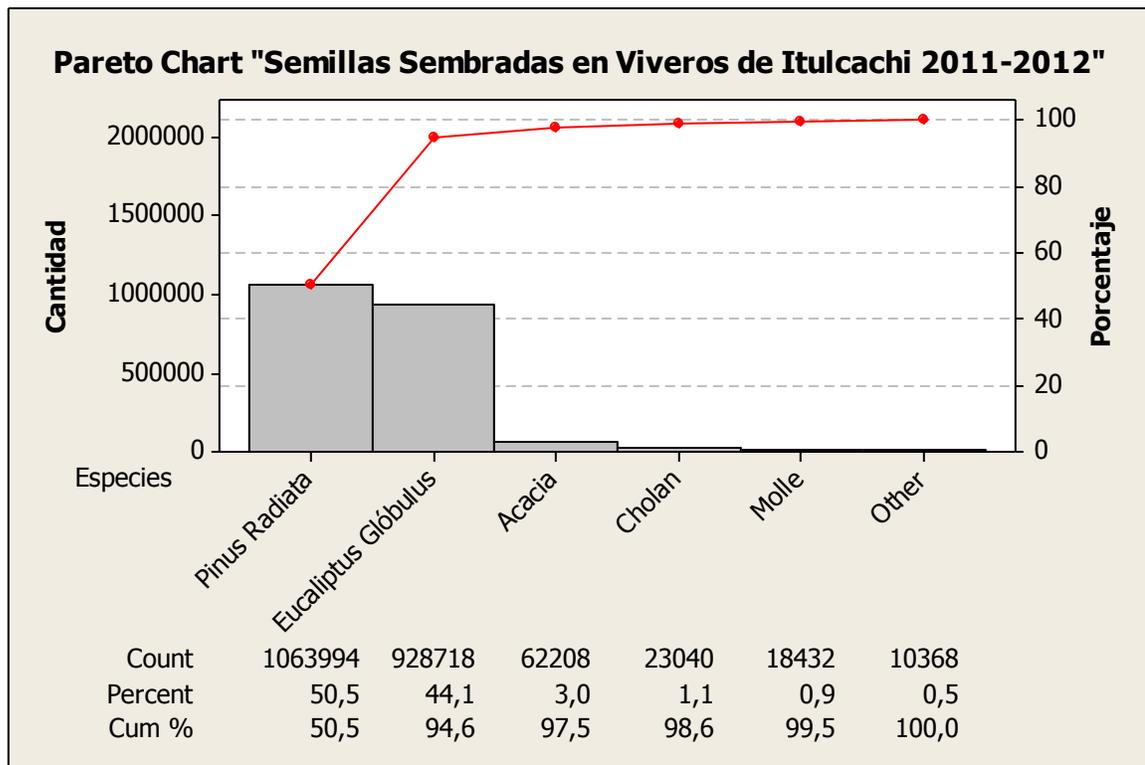


Figura 18: Diagrama de Pareto de las Plantas Producidas en Viveros de Itulcachi en el 2012

Fuente: Generación propia.

Luego fue necesario elaborar un Diagrama de Pareto para las Hectáreas disponibles para siembras; la especie de Eucalyptus Glóbulus se adapta mejor a

terrenos con una altitud menor a 2800 metros por encima del nivel del mar, mientras que el *Pinus Radiata* se adapta a superficies de mayor altitud (Poschen, 2000). En la Tabla 9 se muestran las condiciones y las hectáreas disponibles para cada especie, y en la Figura 19 se muestra el respectivo Análisis de Pareto.

Año	Hacienda	Sup.Total (Has)	Sup. Forestada		Sup. Restante (Has)			
			(Has)	%	Total	Pino	Eucalipto	Otros
1	San José	348	280,7	80,66%	67,30	67,30		
2	Itulcachi	861,82	411	47,69%	450,82	225,41	225,41	
3	Nueva Aurora	60	51	85,00%	9,00	2,25	2,25	4,50
4	Tulugchi	300	281	93,67%	19,00	19,00		
5	Barrancas	570	457,9	80,33%	112,10	112,10		
6	Los Corrales	320	234,3	73,22%	85,70	85,70		
7	Coturco	80	72	90,00%	8,00	8,00		
8	Pisangacho	511	113,7	22,25%	397,30	132,43	132,43	132,43
9	Chinipamba	371	285,1	76,85%	85,90	85,90		
10	La Merced	212	165	77,83%	47,00		47,00	
11	Jatunloma	150	142	94,67%	8,00	8,00		
12	Cuchitingue	1.000,00	983	98,30%	17,00	17,00		
13	Guagrahuas i	400	391	97,75%	9,00	9,00		
14	S.R.Patichu bamba	300	290	96,67%	10,00	10,00		
15	Oro Verde	20	20	100,00%				
16	Total	5.503,82	4.177,70		1326,12	782,09	407,09	136,93

Tabla 9: Descripción de Plantaciones Disponibles para Siembras Enero-2013

Fuente: Generación propia, a partir de Información proporcionada por el Dpto. de Plantaciones en Novopan.

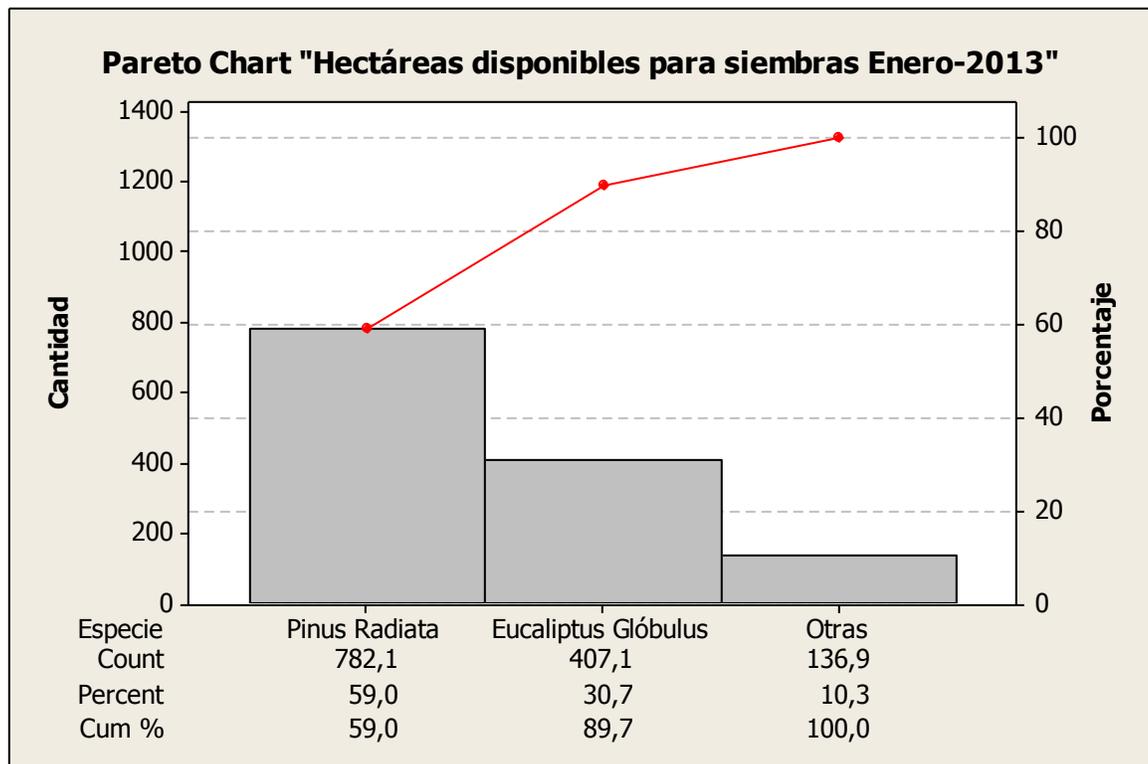


Figura 19: Diagrama de Pareto de las Hectáreas disponibles para siembras en Enero-2013

Fuente: Generación propia.

Como ya se ha mencionado, los Viveros de Itulcachi proporcionan plantas a distintas plantaciones de la empresa y aquellas que se manejan bajo convenios, y en el Diagrama de Pareto presentado en la Figura 19 se observa que el espacio disponible para sembrar Pinus Radiata representa el 59% del espacio total disponible, mientras que para Eucaliptus Glóbulus solo se cuenta con el 30%. Por esta razón se decidió limitar el alcance de este proyecto al manejo con la especie Pinus Radiata.

Por otro lado y en vista de que el desarrollo de las plantas que se cultivan en los Viveros de Itulcachi responde a diferentes condiciones ambientales, a través del INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) se obtuvieron registros del clima representativos de la estación M260 que se ubica en a la región de Pifo.

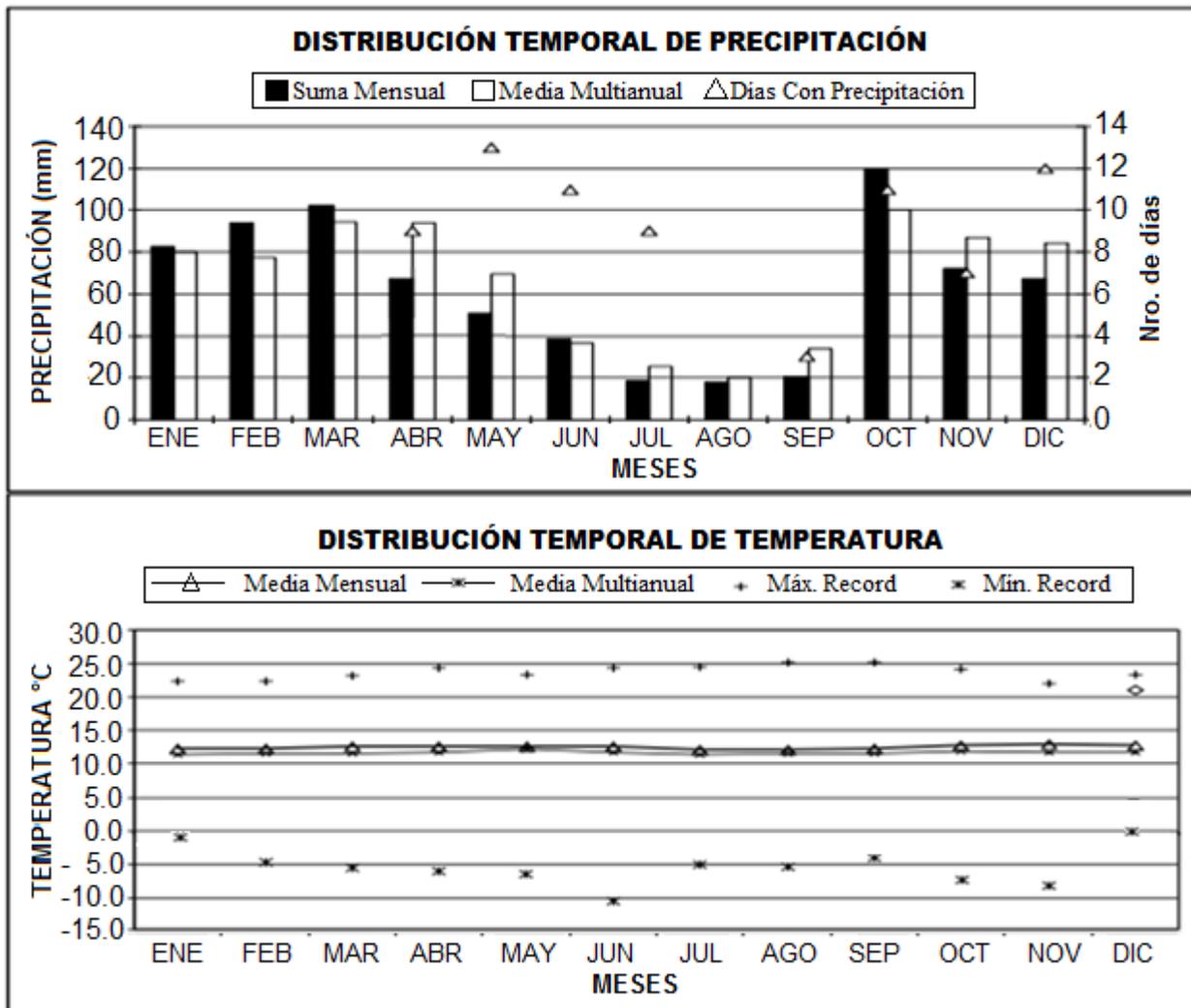


Figura 20: Distribución Temporal de Precipitación de la Región de Pifo

Fuente: (INAMHI, 2012)

En el anterior diagrama al analizar la media multianual para la distribución temporal de precipitación, se puede observar que existen cuatro meses en los cuales se considera etapa de sequía (Junio, Julio, Agosto y Septiembre). El presente proyecto limita su alcance a los meses de no sequía ya que los datos analizados, al igual que el diseño experimental y el punto de control estadístico, hacen referencia a los meses entre Enero y Mayo.

5.1.1. Respuesta a los 4W, 1H

¿Cuál es el problema?

Los indicadores de desempeño de los Viveros de Itulcachi reflejan que su producción está muy por debajo de su capacidad, 81% en el porcentaje de emergencia luego de 21 días para la especie *Pinus Radiata*. Por lo tanto la empresa debe suplir el faltante de plantas a través de terceros, lo cual representa un gasto considerable.

¿Cuándo se da el problema?

El problema se suscita en las etapas de germinación y emergencia de las plantas; de tal manera que dentro del primer mes a partir de la siembra, se obtienen estos resultados.

¿Dónde se da el problema?

Los Viveros de Itulcachi es la ubicación donde se suscita el problema mencionado, en estas instalaciones se realizan los procesos involucrados de germinación, emergencia y cultivo temprano de las plantas.

¿Quiénes están involucrados en el problema?

El área del Plantaciones forestales, y en específico los Viveros de Itulcachi se ven involucrados en el problema. Las repercusiones del problema también incluyen a otros sectores operativos de la empresa ya que el área de Plantaciones Forestales representa un importante factor en el aprovisionamiento de madera.

¿Cómo afecta el problema?

Las bajas tasas de emergencia luego de un período determinado afectan a la empresa en el sentido de que no se generan tantos árboles como los necesarios para suplir a todas las plantaciones, por lo que se debe incurrir en un gasto adicional para comprar plantas que serán trasplantadas en los diferentes predios forestales que maneja Novopan.

5.2. Selección de la variable de respuesta

En la Sección 4.3 se analizaron los distintos indicadores de desempeño que se utilizan en los Viveros de Itulcachi, y se determinó que el porcentaje de emergencia representa una variable de respuesta ideal para el diseño experimental que pretende evaluar el proceso de Germinación y mide la mortalidad de las plantas en los viveros de Itulcachi. Este indicador se obtiene luego 21 días después de la siembra, para la especie *Pinus Radiata*. Para el Diseño Experimental el porcentaje de emergencia se evalúa por lotes de plantas sembradas, cada lote corresponde a media bandeja con 96 tubetes, lo que da lugar a la siembra de 48 semillas. Luego del período mencionado se evalúa cuantas plantas brotaron de la tierra, y se divide este número para el número total de semillas sembradas en el lote (48), tal como se indica en la Ecuación 16.

5.3. Elección de los factores, los niveles y los rangos

Es necesario considerar todos los factores que pueden influir en el porcentaje de emergencia, ya sean los factores potenciales del diseño como los factores perturbadores. En la Sección 4.2, el árbol de eventos para la mortalidad de plantas *Pinus Radiata* en los Viveros de Itulcachi (Figura 15), al igual que el diagrama causa y efectos para el bajo porcentaje de emergencia de *Pinus Radiata* luego de 21 días (Figura 16), ayudaron a determinar los posibles factores para el diseño experimental desarrollado; en la siguiente tabla se muestran los factores influyentes en el porcentaje de emergencia:

N°	Factores influyentes en el Porcentaje de Emergencia
1	Infraestructura
2	Personal
3	Riego
4	Recipientes de Germinación
5	Aprovisionamiento de Semillas
6	Posición del Bancal en los Invernaderos
7	Sustrato
8	Esterilización Sustrato
9	Tratamiento de Semillas
10	Utilización de Biocontroladores (Trichoderma)

Tabla 10: Posibles Factores del Diseño Experimental

Fuente: Generación propia

A continuación se analizó cada uno de los factores propuestos, de manera que se buscó identificar cuales factores se incluirán en el diseño experimental; para ello se categorizó a los factores en: factores constantes y no manipulables y por otro lado los factores variables y manipulables.

En este punto es necesario limitar el alcance del proyecto a la no consideración de factores ambientales como por ejemplo: temperatura y humedad. Sin bien es cierto que estos factores pueden influir en el crecimiento y desarrollo de las plantas, la función de los invernaderos consiste en evitar que factores ambientales lleguen a valores extremos que pudieran perjudicar el desarrollo de las siembras (Fraume, 2007). También se puede argumentar la dificultad por estabilizar estas mediciones para períodos extensos de estudio (tal como se menciona en la revisión literaria de este proyecto), que para el presente proyecto, son los 21 días desde la siembra hasta la germinación.

5.3.1. Factores Constantes y no Manipulables

Existen varios factores que no se pueden manipular, ya sea por conceptos prácticos, o en vista de que el alcance del proyecto no los considera; a seguir se analizan los motivos por lo que algunos factores han sido identificados en este grupo, y se los manejó como factores constantes.

5.3.1.1. Infraestructura

Los Viveros de Itulcachi funcionan en tres invernaderos cubiertos, de los cuales uno se utiliza para la colocación de sustrato en las bandejas de tubetes, y los otros dos sirven para el cultivo de las plantas; adicionalmente se ha identificado áreas designadas a la aclimatación de plantas, bodegas, oficinas, entre otras. El diseño experimental se realizó en los tres invernaderos cubiertos mencionados, y se considera al factor infraestructura como constante y no manipulable dentro del diseño.

5.3.1.2. Personal

El recurso humano que trabaja en la actualidad en los Viveros de Itulcachi está formado por siete personas que realizan las distintas actividades. Por lo general se atribuyen tareas a realizarse durante el día o la semana, y es por esta razón que ninguno de los funcionarios tiene responsabilidades específicas, es decir, todos participan activa y colectivamente en la tarea que se ha asignado al grupo. Es por esta razón que en la etapa de germinación de las plantas, todos los operarios realizan en grupo desde la colocación del sustrato, hasta la colocación de las semillas en los tubetes; por los argumentos dados, se consideró al personal como un factor constante y no manipulable en el diseño experimental.

5.3.1.3. Riego

Los viveros se manejan bajo un riego a través de dispersión, este mecanismo ya se encuentra establecido en los dos invernaderos de cultivo, y se ha considerado por parte del personal que representa el mejor mecanismo para la hidratación de las semillas y plantas (Olmedo, 2013). En este punto resulta interesante el análisis de las cantidades de riego que se necesitaría para el mejor desempeño en la etapa de germinación, sin embargo este es un factor subjetivo al personal y difícilmente controlable; en los Viveros nos comentaron que no se tiene una medida fija de cuanto agua se riega por día ya que en días calurosos se necesita de un mayor volumen de agua para regar las plantas, y por lo tanto es un factor que queda a la opinión del encargado del riego y no se puede controlar ya que las condiciones ambientales son poco predecibles (Itta, 2013).

5.3.1.4. Recipientes de Germinación

En los Viveros de Itulcachi se han manejado con distintos recipientes de germinación (Fundas, Jiffys, Tubetes), y han logrado determinar que el manejo a través de tubetes representa la mejor opción en vista de que permite un mejor manejo de las plantas y también un mejor control y clasificación (Olmedo, 2013). Novopan compró en el 2011 una gran cantidad de bandejas de tubetes en vista de todas las ventajas que presenta este sistema (Mejía, 2013), y por lo tanto se ha considerado que el factor “recipientes de germinación” es un factor que no resulta práctico de analizar, y se lo mantendrá como un factor fijo a la utilización de bandejas de tubetes.

5.3.1.5. Aprovisionamiento de Semillas

El aprovisionamiento de semillas que mantienen Novopan se realiza a través de una empresa ecuatoriana que vende semillas certificadas de alta calidad y buena procedencia; estas semillas poseen garantías de un adecuado desempeño. En el país son muy limitadas las empresas que ofrecen semillas forestales certificadas, y en especial para las especies con las que trabajan los Viveros de Itulcachi: Pinus Radita y Eucalyptus Glóbulos; por motivos de confidencialidad se omite el nombre de la empresa que vende las semillas a Novopan. Las semillas que ha utilizado la empresa provienen de Chillan-Chile; y en los dos últimos años las especificaciones de las semillas compradas han demostrado que un porcentaje mayor al 75% son semillas con altos potenciales de convertirse en plantas (Olmedo, 2013). En vista de que el aprovisionamiento de semillas es un factor con el cual no se puede interactuar por cuestiones prácticas, se lo ha considerado como un factor fijo, donde todas las semillas utilizadas en los ensayos provinieron de la misma fuente.

5.3.2. Factores Variables y Manipulables

Dentro de los factores variables y manipulables, se analizó una serie de factores que se pudieran incluir en el diseño experimental; estos son:

5.3.2.1. Posición del Bancal en los Invernaderos

En cada uno de los dos Invernadero se tiene 98 y 110 diferentes bancales respectivamente, donde se puede realizar el cultivo de las plantas de Pinus Radiata; por lo tanto se analizó si la ubicación del bancal influye significativamente en el porcentaje

de emergencia luego de 21 días. Para ello se realizó un ANOVA para un modelo con efectos aleatorios.

Para este análisis, se consideró una siembra realizada el 15 de febrero, donde se utilizaron 12 bancales; el 8 de marzo se registró la información de cinco bancales escogidos aleatoriamente, obteniendo de esta manera el número de semillas que no emergieron luego de 21 días, ver Tabla 5, y luego los porcentajes de emergencia luego de 21 días, los mismos que se muestran en la Tabla 6.

El ANOVA para un modelo con efectos aleatorios que se utilizó, tiene la variable de respuesta “porcentaje de emergencia luego de 21 días” y el factor de estudio es “posición bancal”; se toma en cuenta que los cinco distintos niveles escogidos para el factor “posición bancal” fueron escogidos aleatoriamente.

Antes de comenzar con el ANOVA para un modelo con efectos aleatorios, se comprobaron los supuestos de: normalidad de residuos, igualdad de varianzas e independencia de los residuos; en la Figura 21 se muestran los gráficos para el análisis de los supuestos.

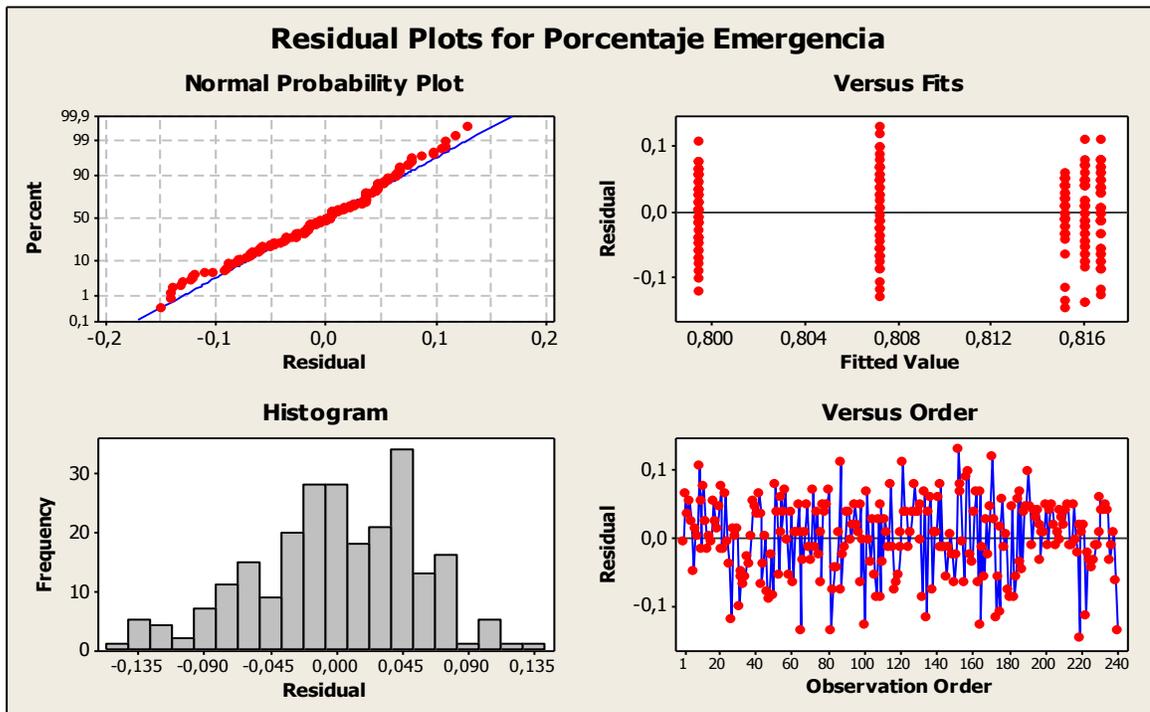


Figura 21: Análisis de los Supuestos para el Análisis de Varianzas (% Emergencia vs. Bancales)

Fuente: Generación propia a partir de Minitab 16.

Todos los supuestos del ANOVA se comprobaron adecuadamente, lo cual permitió continuar con el análisis. En la Tabla 11 se muestran los resultados obtenidos con la utilización del software Minitab 16.

General Linear Model: Porcentaje Emergencia versus Bancal

Factor Type Levels Values
 Bancal random 5 1. 2. 3. 4. 5

Analysis of Variance for Porcentaje Emergencia, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Bancal	4	0,010857	0,010857	0,002714	0,89	0,473
Error	235	0,720174	0,720174	0,003065		
Total	239	0,731031				

S = 0,0553586 R-Sq = 1,49% R-Sq(adj) = 0,00%

Tabla 11: Resultados de Minitab 16 del Análisis de Varianza (Porcentaje Emergencia vs. Bancal)

Fuente: Generación propia

Se puede notar que el valor P obtenido para el análisis es mayor al alfa utilizado (0,05), y por lo tanto no se puede rechazar la hipótesis nula del ANOVA para un modelo con efectos aleatorios ($H_0: \sigma_t^2 = 0$); esto quiere decir que no existe evidencia para rechazar que todos los tratamientos analizados sean iguales. Adicionalmente se calculó los componentes de la varianza para el modelo con la Ecuación 2, obteniendo por resultado que la varianza de cualquier observación es del 0,3%.

Se demostró con un 95 % de confiabilidad que la Posición del Bancal no influye significativamente en el porcentaje de emergencia, y por esta razón el factor posición bancal no se incluirá en el diseño Experimental.

En este punto se realiza la suposición de que la posición de los bancales no influye en el porcentaje de emergencia para ninguno de los diferentes tratamientos aplicados.

5.3.2.2. Sustrato

Para la etapa de germinación de las semillas se puede utilizar diferentes sustratos, en la actualidad la empresa utiliza el sustrato inerte "Berger Peat" que es importado desde Canadá; sin embargo en el Dpto. de Plantaciones Forestales se

estudian proyectos para la elaboración de un sustrato propio a base de corteza de pino (Olmedo, 2013). De igual manera, se determinó que el análisis de un sustrato orgánico también brindaría conclusiones robustas en el diseño experimental. Es por estas razones que el factor “Sustrato” resultó interesante de ser analizado a través de un Diseño Experimental, donde se incluyeron tres diferentes niveles, los cuales se detallan a continuación:

- Actual (Berger Peat). Sustrato inerte de consistencia fina, la misma que se ha estado utilizando regularmente en los Viveros de Itulcachi.
- Elaboración Propia. Es un sustrato elaborado a través de corteza de pino que se manipula para transformarse en un sustrato inerte de consistencia fina.
- Humus + Tierra Negra. Este último sustrato, fue elaborado en las siguientes proporciones:
 - 45% Tierra Negra.
 - 45% Humus de lombriz.
 - 10% Cascarilla de Arroz.

Es necesario mencionar que las proporciones de los componentes para el tercer sustrato propuesto, fueron analizadas junto al Ingeniero Carlos Ruales, para poder garantizar las propiedades físicas y químicas que necesita un sustrato para el adecuado desarrollo de la especie *Pinus Radiata* (Ruales, 2013).

5.3.2.3. Esterilización del sustrato

Resulta importante analizar si un proceso de esterilización del sustrato podría influenciar en el porcentaje de emergencia luego de 21 días, este proceso consiste en rociar el sustrato preparado con un esterilizador químico para de esta manera eliminar cualquier tipo de microorganismo que pudiera afectar el desarrollo de la semilla (Ruales, 2013).

Este factor cualitativo forma parte del diseño experimental, de manera que se analiza dos niveles: si realizar la esterilización del sustrato o no realizarla. Se utilizó el producto Terraclor, diluyendo 5 gr. del producto en 10 litros de agua, y rociándolo en 100 litros ($0,10m^3$) del sustrato respectivo. Este procedimiento se realizó un día antes del proceso de colocación de las semillas en los respectivos tubetes.

5.3.2.4. Tratamiento Semillas.

La teoría menciona que existen distintos tratamientos pre-germinativos que se puede realizar a las semillas forestales para de esta manera acelerar el tiempo de emergencia; la escarificación en agua caliente es el tratamiento con mejores resultados en semillas forestales (Mera, 2012).

Este factor cualitativo forma parte del diseño experimental, de manera que se analiza dos niveles: si realizar el tratamiento a las semillas o no realizarlo. En este punto es necesario indicar que las semillas de la empresa se encuentran almacenadas a 5°C (Olmedo, 2013), y que el tratamiento a las semillas consistió en remojarlas en agua a una temperatura de 75°C durante 3 minutos antes de que se realice su siembra.

5.3.2.5. Utilización de Biocontroladores (Trichoderma)

Se ha podido demostrar a través de diferentes ensayos en la Universidad San Francisco de Quito, que la utilización de biocontroladores favorecen el desarrollo de una planta; la Trichoderma consiste en un micro organismo que actúa en simbiosis con la semilla o planta, de manera que es un fungicida orgánico que elimina a otros organismos que no permitan el adecuado crecimiento de la planta (Ruales, 2013).

Este factor cualitativo forma parte del diseño experimental, de manera que se analiza dos niveles: si realizar la aplicación de trichoderma o no realizarlo. Para el Diseño Experimental se colocó 10 ml. de trichoderma disuelta en agua (a una proporción de 1:25) luego de que la semilla fuera colocada en el tubete respectivo. Es decir, se utilizará aproximadamente 0,4 Litros de Trichoderma pura por cada 1000 tubetes sembrados.

5.3.3. Factores del Diseño Experimental

En la siguiente tabla se muestran todos los factores que considera el diseño experimental propuesto; se identifican los factores constantes y no manipulables, y también los factores variables y manipulables junto a sus respectivos niveles:

Factores Constantes y No Manipulables

1. Infraestructura	Invernadero Cubierto
2. Personal	Recurso Humano Viveros Itulcachi
3. Riego	Por Dispersión
4. Recipientes de Germinación	Tubetes Importados
5. Semillas	Importadas Chillán – Chile

Factores Variables y Manipulables

	Niveles			
	Actual	Elaboración Propia	Orgánico	
1. Sustrato	Actual	Elaboración Propia	Orgánico	3
2. Esterilización del Sustrato	Si		No	2
3. Tratamiento Semillas	Si		No	2
4. Trichoderma	Si		No	2
			Combinaciones	24

Tabla 12: Factores del Diseño Experimental y Niveles

Fuente: Generación propia

5.5. Elección del Diseño Experimental

El diseño factorial tomó al porcentaje de emergencia luego de 21 días como la variable de respuesta, y se busca analizar si alguno(s) de los factores variables (Sustrato, Trat. Sustrato, Trat. Semillas o Trichoderma) influyen significativamente en esta variable de respuesta. Se construyó un diseño factorial (3x2x2x2) completo con ocho bloques relacionados con cada réplicas; obteniendo 24 combinaciones distintas y un total de 192 muestras. Cada muestra fue realizada en media bandeja de tubetes.

La principal razón por la elección de realizar un diseño factorial completo y ocho réplicas consiste en que Novopan permitió la utilización de dos bancales para los ensayos propuestos; es decir 192 medias bandejas de tubetes disponibles. Al elegir un diseño factorial completo con ocho réplicas se busca obtener resultados más confiables, lo cual llevará a un análisis estadístico que permita conclusiones robustas.

Se eligió realizar un diseño con ocho bloques, donde cada bloque refiere a cada una de las réplicas realizadas en los días 22 y 23 de marzo del 2013. A través de la realización de bloques se buscó anular cualquier posible efecto que tuviera el momento en que se realizó el ensayo del diseño experimental.

5.6. Realización del Experimento

En el Anexo 9 se muestran todas las combinaciones realizadas en el área disponible para los ensayos. Para un mejor manejo de la información, se señaló a cada media bandeja a través de un código que muestre a que combinación representa; en la Figura 22 se muestra la etiqueta y su significado:

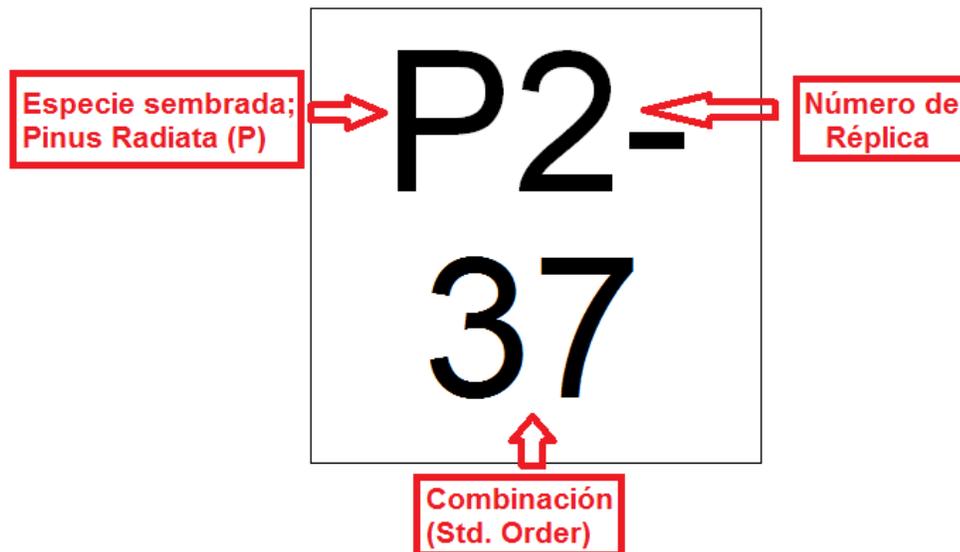


Figura 22: Etiqueta de Clasificación de Medias Bandejas

Fuente: Generación propia

La etiqueta presentada como ejemplo en la Figura 22 representaría a una media bandeja de tubetes para la especie *Pinus Radiata*, con la combinación 37 y el bloque número 2; al ver en el Anexo 9 se puede notar que esta combinación hace referencia a:

- Utilización del Sustrato actual de la empresa (Berger Peat Moss).
- No se realizó un proceso de esterilización química del sustrato.
- Si se realizó el tratamiento a las semillas utilizadas.

- Si se colocó 10 ml de Trichoderma en el tubete post siembra.

Los experimentos se realizaron el 22 y 23 de Marzo del 2013; en el Anexo 10 se muestra los códigos establecidos para cada media bandeja de tubetes, en la misma posición en la cual se realizó lo experimento en los dos bancales que se ocuparon en los Viveros de Itulcachi.

La recolección de los datos referentes al porcentaje de emergencia para los cuatro primeros bloques se realizó el 6 de abril, mientras que los cuatro bloques restantes se registró resultados el 7 de abril; en el Anexo 11 se muestra el número de plantas no emergidas luego de 21 días, mientras que en el Anexo 12 se muestra el porcentaje de emergencia luego de 21 días.

5.7. Análisis Estadístico de los Datos

Para el análisis estadístico se utilizaron software como Minitab y Design Expert, donde se construyó un diseño experimental según las especificaciones de la sección 5.4 y luego se ingresaron todos los datos referentes a la variable de respuesta (Porcentaje de Emergencia de Pinus Radiata luego de 21 días).

5.7.1. Análisis de los Supuestos del ANOVA para el Modelo Propuesto

El siguiente paso consistió en el análisis de los supuestos para la ANOVA, los cuales se cumplieron apropiadamente; en la Figura 23 se muestra la gráfica utilizada para el análisis de los supuestos.

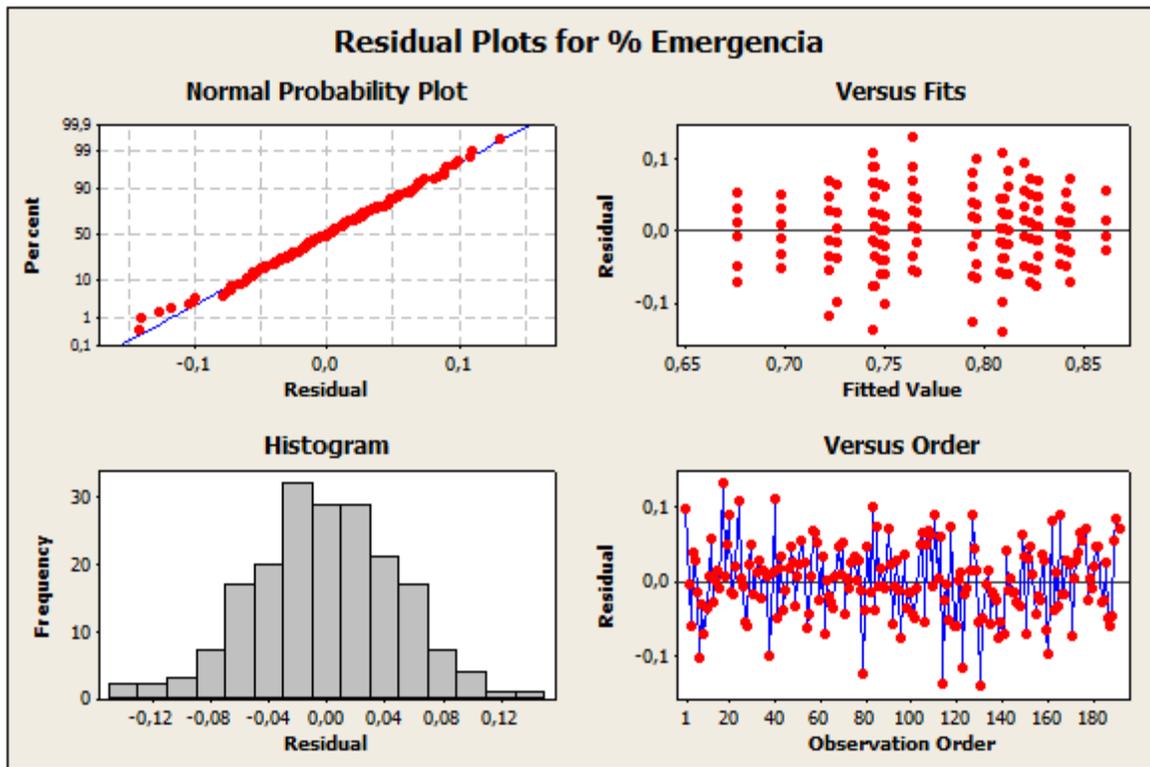


Figura 23: Análisis de los Supuestos para el Diseño Experimental (Porcentaje de Emergencia)

Fuente: Generación propia a partir de Minitab 16.

5.7.2. ANOVA para el Modelo Propuesto

Se continuó con el Análisis de Varianzas, donde se consideró todos los factores e interacciones de hasta cuatro orden; el resultado otorgado por Minitab se muestra en el Anexo 13. Estos resultados muestran que existen varios factores que no son considerados como significativos, estos son:

- Réplicas (Bloques)
- El factor “Tratamiento de Semillas”
- Interacciones de segundo orden:
 - “Sustrato” y “Tratamiento de Semillas”
 - “Tratamiento de Sustrato” y “Trichoderma”
 - “Tratamiento de Semillas” y “Trichoderma”
- Todas las interacciones de tercer orden.

- La interacción de cuarto orden.

Para comprobar los factores considerados como significativos, se realizó un diagrama de media probabilidad normal para los efectos de cada factor e interacción, el mismo que se muestra a continuación:

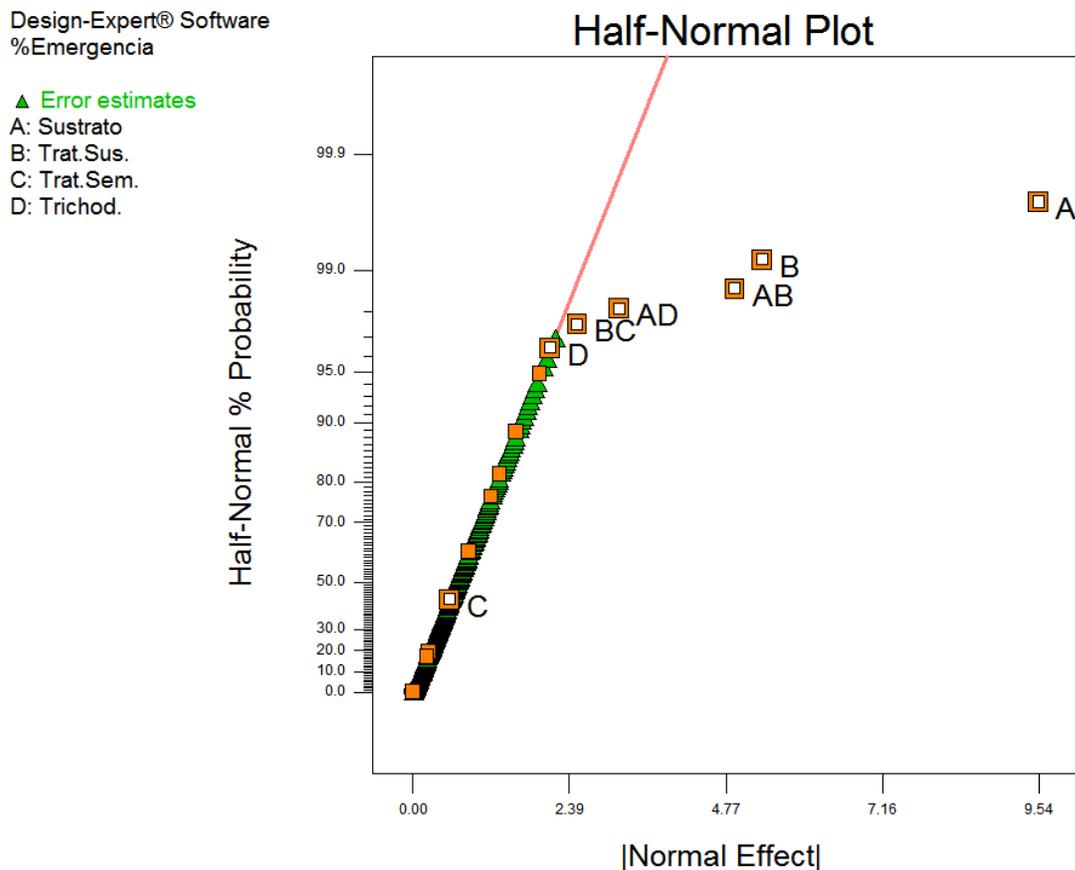


Figura 24: Diagrama de Media Probabilidad Normal de los Efectos sobre el Porcentaje de Emergencia

Fuente: Generación propia a partir de Design Expert 8.0.

En la anterior figura se puede observar que los efectos significativos son en orden de relevancia: A, B, AB, AD, BC, D, y es necesario mencionar que también se incluye al factor C de acuerdo al principio de jerarquía, el cual menciona que si una interacción de orden superior es significativa, se debe considerar a todos los factores involucrados en la misma.

Luego de sacar a los elementos no significativos del modelo, se volvió a realizar el ANOVA, obteniendo los resultados que se presentan a continuación:

General Linear Model: % Emergencia versus Sustrato. Trat.Sust.. ...							
Factor	Type	Levels	Values				
Sustrato	fixed	3	Actual (Berger Peat). Elab. Propia. Orgánico				
Trat.Sust.	fixed	2	No. Si				
Trat.Sem.	fixed	2	No. Si				
Tricho.	fixed	2	No. Si				

Analysis of Variance for % Emergencia, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
Sustrato	2	0,250439	0,250439	0,125219	48,03	0,000	
Trat.Sust.	1	0,074058	0,074058	0,074058	28,41	0,000	
Trat.Sem.	1	0,000816	0,000816	0,000816	0,31	0,577	
Tricho.	1	0,011395	0,011395	0,011395	4,37	0,038	
Sustrato*Trat.Sust.	2	0,072623	0,072623	0,036311	13,93	0,000	
Sustrato*Tricho.	2	0,033425	0,033425	0,016712	6,41	0,002	
Trat.Sust.*Trat.Sem.	1	0,016333	0,016333	0,016333	6,27	0,013	
Error	181	0,471845	0,471845	0,002607			
Total	191	0,930933					

Tabla 13: Resultados de Minitab 16 del Análisis del diseño Experimental, Factores Significativos (Porcentaje Emergencia luego de 21 días)

Fuente: Generación propia a partir de Minitab 16.

El análisis del ANOVA desplegado por Minitab, nos indica que todos los factores, con excepción del tratamiento a las semillas, influyen significativamente a un 95% de confianza sobre la variable de respuesta o el Porcentaje de Emergencia del *Pinus Radiata* luego de 21 días.

5.7.3. Análisis de Efectos Principales y por Interacción de Factores

Para profundizar en el análisis se construyeron gráficas que indicaran los efectos de cada uno de los factores e interacciones involucradas, en la Figura 25 y Figura 26 se muestran estos resultados respectivamente.

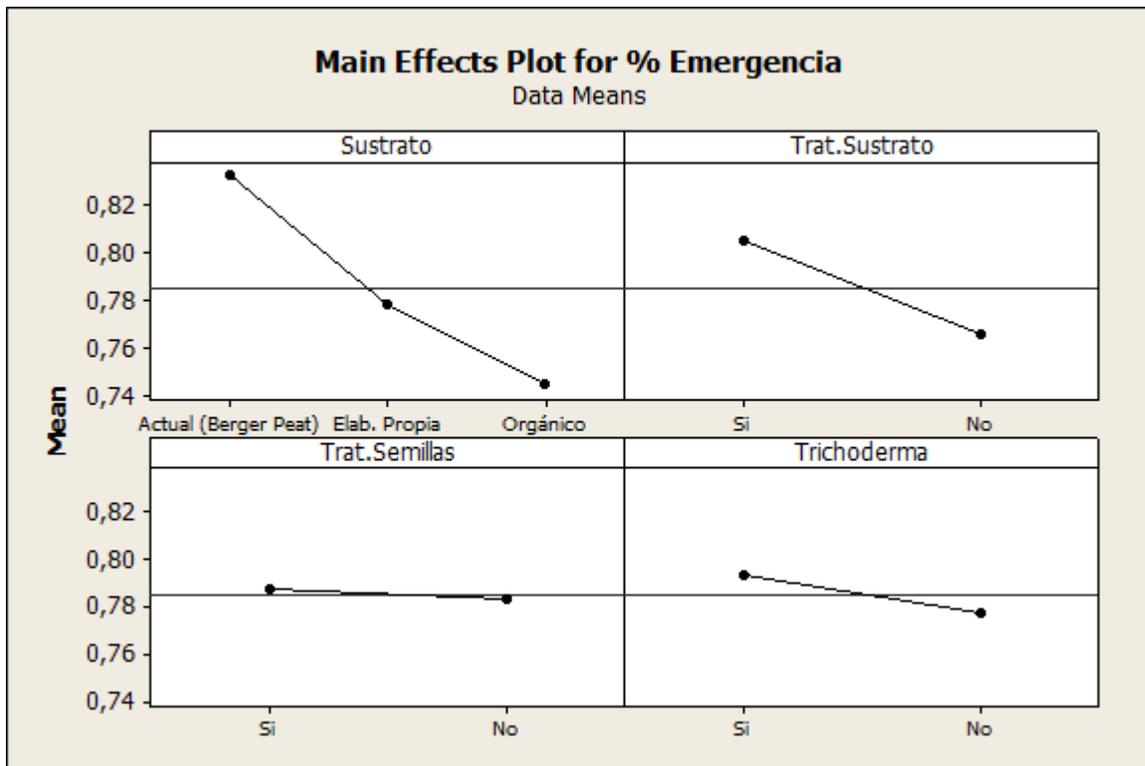


Figura 25: Diagrama de Efectos Principales para el Diseño Experimental (Porcentaje de Emergencia luego de 21 días)

Fuente: Generación propia a partir de Minitab 16.

A través de la Figura 25 se puede determinar que el factor que más influye sobre la variable de respuesta del diseño experimental es el tipo de sustrato a utilizarse, luego el tratamiento al sustrato, la trichoderma; y por último se muestra al tratamiento a las semillas como un factor que influye de manera muy ligera.

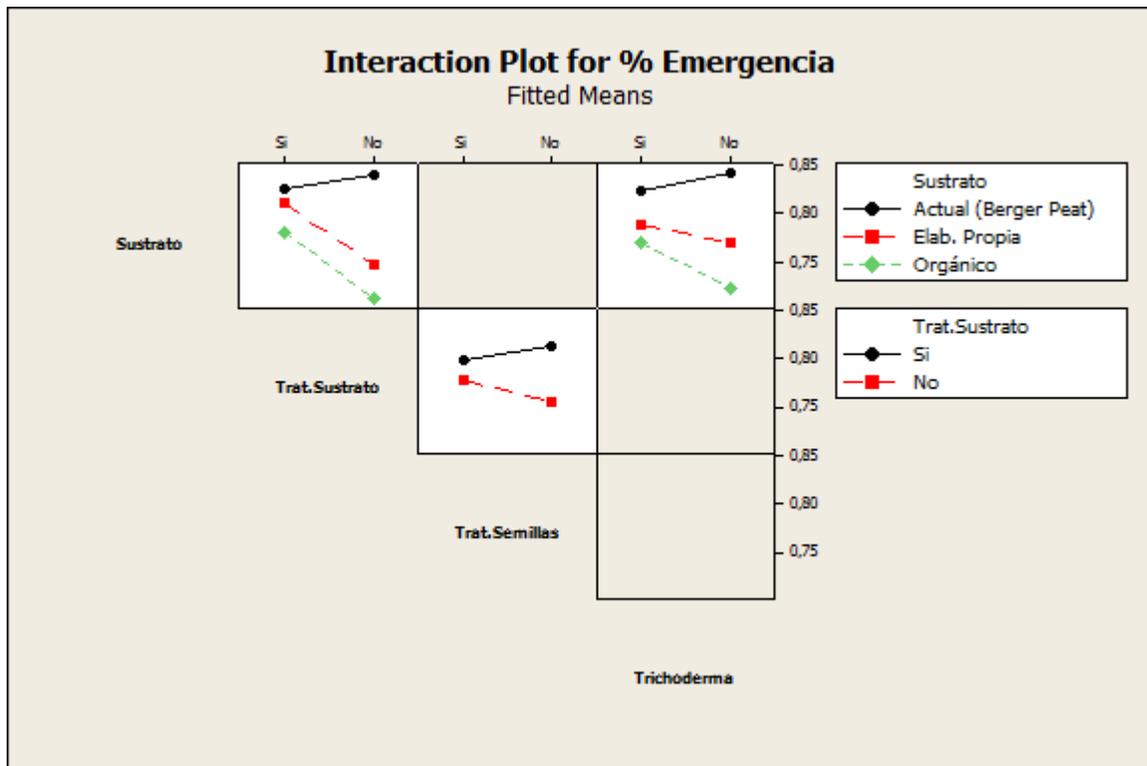


Figura 26: Diagrama de Efectos por Interacción de Factores para el Diseño Experimental (Porcentaje de Emergencia luego de 21 Días)

Fuente: Generación propia a partir de Minitab 16.

En esta figura únicamente se muestran los efectos causados por las interacciones consideradas como significativas: (1) "Sustrato" Vs. "Tratamiento del Sustrato", (2) "Sustrato" Vs. "Trichoderma" y (3) "Tratamiento del Sustrato" Vs. "Tratamiento de Semillas". Para todos los casos considerados podemos notar como las líneas que representan los efectos de la interacción no se cruzan, y se encuentran relativamente alejadas, lo cual demuestra que estas interacciones son significativas. En el Anexo 14 se muestra el diagrama de efectos por todas las interacciones de segundo orden.

5.7.4. Análisis de Comparación de Medias

Resulta necesario analizar las medias para cada uno de las 24 combinaciones o métodos que representó el diseño factorial completo construido ($3 \times 2 \times 2 \times 2$). En la siguiente figura se muestran las medias del porcentaje de emergencia del *Pinus Radiata* luego de 21 días, a través de cubos de respuesta; cada cubo representa uno

de los tres tipos de sustrato y cada vértice representa la interacción de los tres factores restantes: "Tratamiento de Sustrato", "Tratamiento de Semillas" y "Trichoderma".

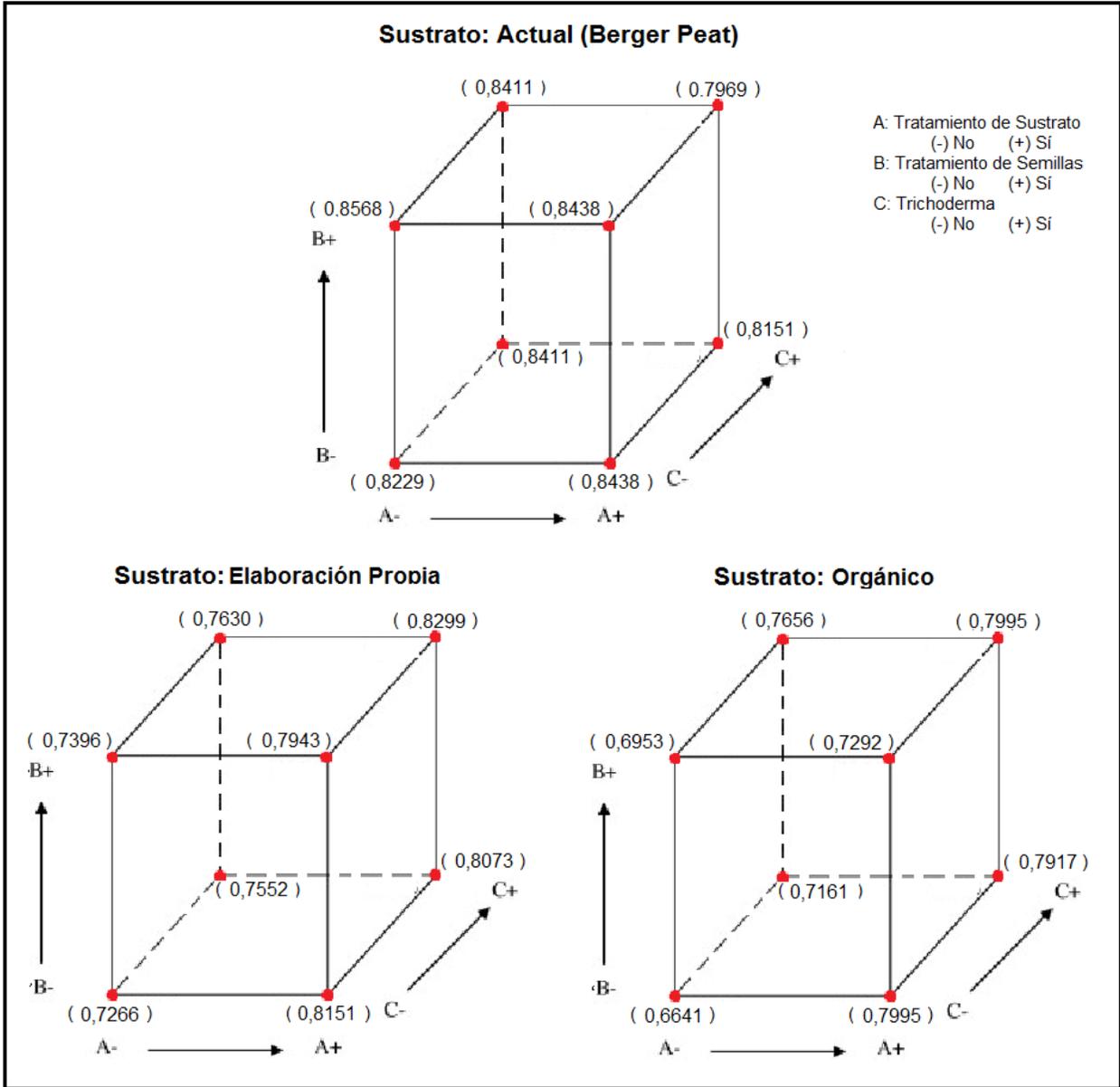


Figura 27: Cubos de Respuesta del Porcentaje de Emergencia luego de 21 Días

Fuente: Generación propia.

La información necesaria para construir la Figura 27 se muestra en el Anexo 15. A través de esta figura se puede observar que los vértices del cubo que representa al sustrato actual parecen tener las medias de respuesta más altas, sin embargo es

necesario profundizar en el análisis de comparación de medias para obtener conclusiones robustas. Por esta razón se utilizó la prueba de “diferencia significativa mínima” de Fisher para la comparación de medias, donde se considera intervalos de confianza al 95% de confiabilidad para demostrar cuales son las combinaciones con medias significativamente diferentes.

En el Anexo 16 se calcularon los intervalos de confianza del 95% en función de las medias y el error cuadrado medio del análisis de varianzas. A continuación se muestra un diagrama de intervalos donde se puede analizar la disposición de todos los intervalos de confianza para las 24 combinaciones que resultan de la interacción de los cuatro factores del diseño experimental:

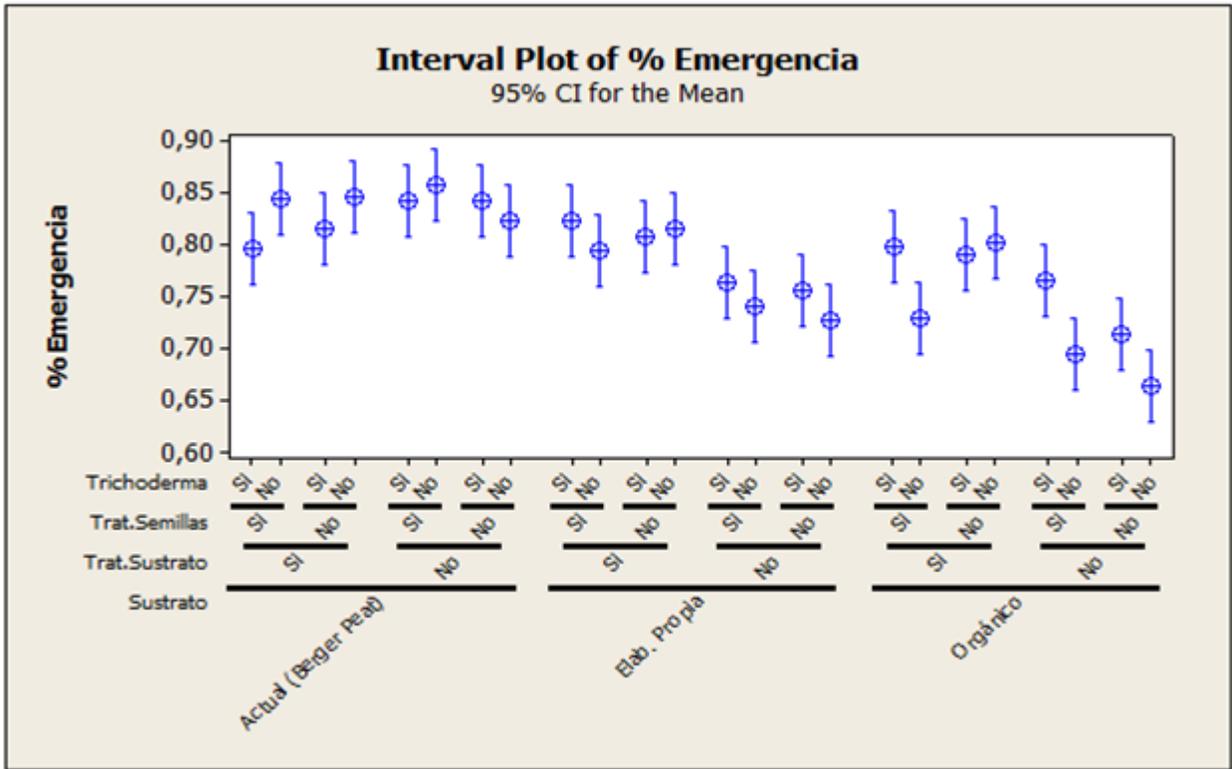


Figura 28: Intervalos de Confianza 95% del Porcentaje de Emergencia para Cada Combinación

Fuente: Generación propia a partir de Minitab 16.

La prueba de comparación de medias de Fisher calcula la diferencia significativa mínima (LSD); de manera que al comparar este valor con la diferencia absoluta entre

todos los pares posibles entre las 24 combinaciones del diseño experimental, se puede determinar qué relaciones son significativamente diferentes.

$$LSD = t_{\alpha/2, N-a} \frac{\overline{2 MS_E}}{n} = t_{0,025,166} \frac{\overline{2(0,0179)}}{24} = 0,0757$$

Ecuación 17: Cálculo de la Diferencia Significativa Mínima (LSD)

Fuente: Elaboración Propia.

En el Anexo 17 se muestran las todas las diferencias absolutas de medias entre todos los pares de combinaciones analizadas, y se resaltan aquellos valores que son mayores al LSD calculado. Es decir, la combinación *i* es significativamente diferente de la combinación *j* si: $|y_i - y_j| > 0,0756$.

Para una mejor interpretación de los datos se ha categorizado a cada combinación del diseño experimental o método dentro de siete grupos (A, B,... G), de manera que las combinaciones que pertenezcan al mismo grupo, son significativamente similares. En la siguiente tabla se muestra un resumen de los resultados:

N°MET	Sustrato	Trat. Sus	Trat. Sem	Trichoderma	Media	Grupo
1	Actual	No	Si	No	0,8568	A
2	Actual	Si	Si	No	0,8438	A
3	Actual	Si	No	No	0,8438	A
4	Actual	No	Si	Si	0,8411	AB
5	Actual	No	No	Si	0,8411	AB
6	Actual	No	No	No	0,8229	ABC
7	Elab. Propia	Si	Si	Si	0,8229	ABC
8	Actual	Si	No	Si	0,8151	ABCD
9	Elab. Propia	Si	No	No	0,8151	ABCD
10	Elab. Propia	Si	No	Si	0,8073	ABCD
11	Orgánico	Si	Si	Si	0,7995	ABCDE
12	Orgánico	Si	No	No	0,7995	ABCDE
13	Actual	Si	Si	Si	0,7969	ABCDE
14	Elab. Propia	Si	Si	No	0,7943	ABCDE
15	Orgánico	Si	No	Si	0,7917	ABCDE
16	Orgánico	No	Si	Si	0,7656	BCDEF
17	Elab. Propia	No	Si	Si	0,763	CDEF
18	Elab. Propia	No	No	Si	0,7552	CDEF
19	Elab. Propia	No	Si	No	0,7396	DEFG
20	Orgánico	Si	Si	No	0,7292	EFG
21	Elab. Propia	No	No	No	0,7266	EFG
22	Orgánico	No	No	Si	0,7161	FG
23	Orgánico	No	Si	No	0,6953	FG
24	Orgánico	No	No	No	0,6641	G

Tabla 14: Resultados de la Prueba de Comparación de Medias (Porcentaje Emergencia luego de 21 días)

Fuente: Generación propia

Se determinaron siete distintos grupos, y tal como se mencionó una combinación es significativamente diferente de otra, mientras no compartan la misma letra del grupo.

5.7.5. Elaboración del Modelo de Regresión

Se construyó un modelo de regresión que muestre el comportamiento de la variable de respuesta “Porcentaje de emergencia del *Pinus Radiata* luego de 21 días” en función de los cuatro factores e interacciones consideradas como significativas en el ANOVA. En este punto es necesario mencionar que los cuatro factores utilizados para el diseño experimental son cualitativos o nominales, es por esta razón que para

construir un modelo de regresión fue necesario convertir estos factores en variables codificadas, en la siguiente tabla se muestra como se realizó la transformación:

Variable	Variable Codificada	
Sustrato	X1	X2
Actual	1	0
E. Propia	0	1
Orgánico	-1	-1
Trat. Sustrato	X3	
No	-1	
Si	1	
Trat. Semillas	X4	
No	-1	
Si	1	
Trichoderma	X5	
No	-1	
Si	1	

Tabla 15: Conversión de Variables Nominales en Variables Codificadas para el Modelo de Regresión (Porcentaje Emergencia luego de 21 días)

Fuente: Generación propia

Utilizando el software Design Expert se determinó cual sería los coeficientes del modelo de regresión, obteniendo la siguiente pantalla de respuesta:

Term	Coefficient	df	Standard	95% CI		p-value
	Estimate		Error	Low	High	
Intercept	0.79	1	3.685E-003	0.78	0.79	
A[1]	0.047	1	5.211E-003	0.037	0.058	< 0.0001
A[2]	-7.270E-003	1	5.211E-003	-0.018	3.012E-003	< 0.0001
B-Trat.Sus	0.020	1	3.685E-003	0.012	0.027	< 0.0001
C-Trat.Sem	2.062E-003	1	3.685E-003	-5.209E-003	9.332E-003	0.5765
D	7.704E-003	1	3.685E-003	4.334E-004	0.015	0.0379
A[1]B	-0.027	1	5.211E-003	-0.038	-0.017	< 0.0001
A[2]B	0.012	1	5.211E-003	1.979E-003	0.023	< 0.0001
A[1]D	-0.017	1	5.211E-003	-0.027	-6.536E-003	0.0020
A[2]D	1.411E-003	1	5.211E-003	-8.872E-003	0.012	0.0132
BC	-9.223E-003	1	3.685E-003	-0.016	-1.952E-003	

Tabla 16: Resultados de Design Expert 8; Análisis del Modelo de Regresión (Porcentaje Emergencia luego de 21 días)

Fuente: Generación propia a partir de Design Expert 8.0

Es necesario recalcar que se incluyó a todos los factores e interacciones significativas en el ANOVA. Se obtuvo los coeficientes de la regresión y también se obtuvo un estadístico (valor p) que muestra la significancia del coeficiente dentro de la regresión. Al analizar los datos podemos notar que el coeficiente para el factor “Tratamiento de Semillas” no es significativo, sin embargo manteniendo el principio de jerarquía se lo debe incluir dentro del modelo de regresión. A seguir se muestra la ecuación final para determinar el porcentaje de emergencia del *Pinus Radiata* luego de 21 días en función de los factores e interacciones considerados:

$$y = 0,79 + 0,047 X_1 + 0,007 X_2 + 0,020 X_3 + 0,002 X_4 + 0,007 X_5 - 0,027 X_1 X_3 + 0,012 X_2 X_3 - 0,017 X_1 X_5 + 0,001 X_2 X_5 - 0,009 X_3 X_4$$

Ecuación 18: Modelo de Regresión para el Porcentaje de Emergencia del *Pinus Radiata* Luego de 21 Días

Fuente: Elaboración Propia con Design Expert 8.

En la siguiente tabla se muestran los intervalos de confianza a un 95% de confiabilidad para los cocientes del modelo de regresión determinado:

Término	Cociente	Intervalo Confianza 95%	
Const.	0,79	0,7825	0,7975
X_1	0,047	0,037	0,058
X_2	-0,007	-0,018	0,003
X_3	0,02	0,012	0,027
X_4	0,002	-0,005	0,009
X_5	0,007	0,001	0,015
X_1X_3	-0,027	-0,038	-0,017
X_2X_3	0,012	0,002	0,023
X_1X_5	-0,017	-0,027	-0,006
X_2X_5	0,001	-0,008	0,012
X_3X_4	-0,009	-0,016	-0,002

Tabla 17: Coeficientes e Intervalos de Confianza al 95% del Modelo de Regresión

Fuente: Generación propia

Esta ecuación fue comprobada en una hoja de datos donde se comparó el valor real frente al valor ajustado por el modelo de regresión, los datos se muestran en el Anexo 18. A continuación se muestra un diagrama de dispersión donde se compara los valores reales y los valores ajustados:

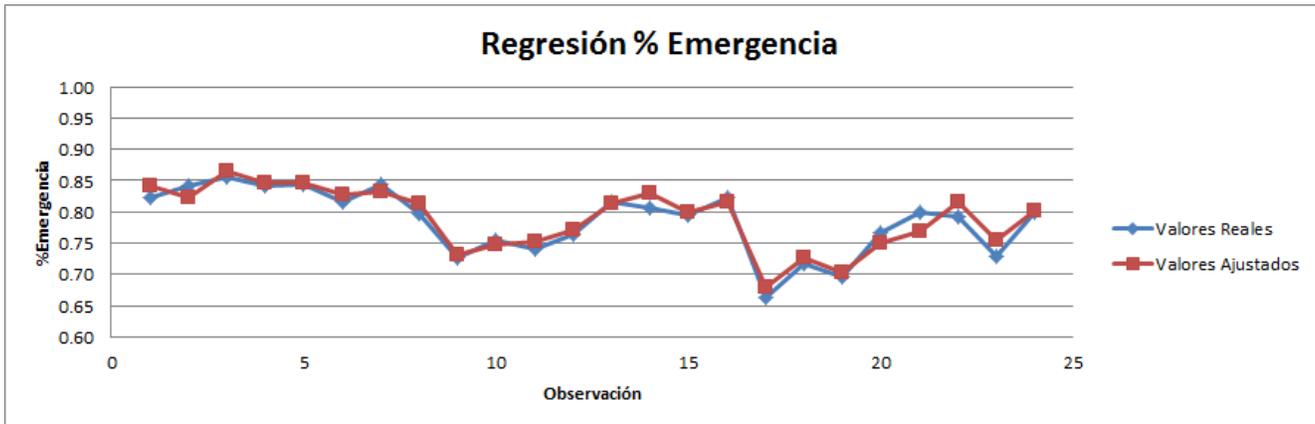


Figura 29: Diagrama de Dispersión de los Valores Reales y Valores Ajustados para el Porcentaje de Emergencia

Fuente: Generación propia.

El modelo de regresión propuesto obtuvo un coeficiente R^2 de 0,992; y un coeficiente $R^2_{ajustado}$ de 0,987. En vista de que la diferencia entre ambos coeficientes es

mínima, no existe mayor riesgo de haber considerado factores inapropiados (Montgomery, Diseño y Análisis de Experimentos, 2007); estos valores también demuestran cómo se ajusta adecuadamente el modelo de regresión a los valores reales que fueron tomados en los ensayos.

5.7.6. Mejores Combinaciones del Diseño Experimental

A través del modelo de regresión, se pudo determinar que la mejor combinación o método con un porcentaje de emergencia del *Pinus Radiata* luego de 21 días del 86,5%, corresponde a:

- Sustrato (Actual), Trat. Sustrato (No), Trat. Semillas (Si) y Trichoderma (No)

Sin embargo a través de la prueba de comparación de medias de Fisher, se demostró que las siguientes 15 combinaciones presentan medias significativamente iguales:

N°	Sustrato	Trat.Sust	Trat.Sem	Tricho.	Valor Real	Valor Ajustado
1	Actual	No	Si	No	0,857	0,865
2	Actual	Si	Si	No	0,844	0,833
3	Actual	Si	No	No	0,844	0,847
4	Actual	No	No	Si	0,841	0,824
5	Actual	No	Si	Si	0,841	0,846
6	Actual	No	No	No	0,823	0,842
7	Elab. Propia	Si	Si	Si	0,823	0,817
8	Actual	Si	No	Si	0,815	0,828
9	Elab. Propia	Si	No	No	0,815	0,813
10	Elab. Propia	Si	No	Si	0,807	0,831
11	Orgánico	Si	No	No	0,799	0,769
12	Orgánico	Si	Si	Si	0,799	0,801
13	Actual	Si	Si	Si	0,797	0,814
14	Elab. Propia	Si	Si	No	0,794	0,798
15	Orgánico	Si	No	Si	0,792	0,815

Tabla 18: Combinaciones con Mejor Porcentaje Emergencia luego de 21 días

Fuente: Generación propia

En este punto cabe resaltar que luego de un mes y medio, todas las combinaciones que utilizaban el Sustrato Orgánico, elaborado a base de Tierra Negra,

Humus y Cascarilla de Arroz notificaron que las plantas emergidas comenzaron a morir debido a la aparición de organismos ajenos; es por esta razón que se descartó totalmente a cualquier combinación o método que utilizó el Sustrato Orgánico, es decir, las combinaciones 11, 12 y 15.

6. CAPÍTULO VI: ANÁLISIS ECONÓMICO DE LOS MÉTODOS SELECCIONADOS

6.1. Métodos Seleccionados para el Análisis Económico

En esta sección se analizaron las combinaciones o métodos del diseño experimental que resultaron ser más relevantes en base a la opinión del Dpto. de Plantaciones Forestales de Novopan, y a los resultados de la sección anterior; el análisis de los distintos escenarios nos permitió realizar una comparación desde el punto económico, los métodos seleccionados para el análisis son:

1. El método que obtuvo el mejor media muestral para el porcentaje de emergencia luego de 21 días; este método se seleccionó en vista de que presentó los mejores resultados de desempeño en el diseño experimental.
2. El método que es utilizado actualmente; resulta interesante analizar desde el punto de vista económico la situación actual en los procesos de germinación.
3. El método que utiliza el sustrato de elaboración propia y obtuvo el mejor porcentaje de emergencia luego de 21 días; el departamento forestal considera que el utilizar un sustrato de elaboración propia reduciría significativamente los costos de operación de los viveros de Itulcachi, y por lo tanto se analizará este método.

N° MET	Sustrato	Trat. Sus	Trat. Sem	Trichoderma	Media	Intervalo de Confianza 95%	
1	Actual	No	Si	No	0,8568	0,8919	0,8218
6	Actual	No	No	No	0,8229	0,8580	0,7879
7	Elab. Propia	Si	Si	Si	0,8229	0,8580	0,7879

Tabla 19: Métodos Seleccionados para Análisis Económico

Fuente: Elaboración Propia.

Es necesario mencionar que en la Sección 5.6.4. se pudo realizar un análisis de comparación de medias, donde se puede evidenciar que todos los métodos considerados para el análisis económico (N°1, 6 y 7) presentan medias significativamente similares, utilizando un 95% de confianza.

6.2. Metodología Escogida del Análisis Económico

Para un mejor desarrollo del estudio de la aplicación de los distintos métodos o combinaciones consideradas en el diseño experimental, se ha elaborado una secuencia de pasos a seguir a partir de las sugerencias de varios autores (Blank & Tarquin, 2007) (Horngren, Datar, & Foster, 2007); los mismos que se enfocan principalmente en conceptos de ingeniería económica. A continuación se enlistan los pasos:

- i. Estimar los ingresos y desembolsos del proyecto para cada combinación o método planteado; realizando las justificaciones pertinentes.
- ii. Establecer la tasa de descuento de los flujos a partir de la tasa activa y tasa pasiva del mercado.
- iii. Modelar los diferentes escenarios para ver la viabilidad de los proyectos.
- iv. Realizar un análisis en función de indicadores como el VPN y VFN.
- v. Identificar cuál es el escenario más conveniente para los Viveros de Itulcachi.

6.3. Estimación de Ingresos y Egresos

Antes de cualquier estimación, es necesario definir el plan de producción con el cual se busca manejar los Viveros de Itulcachi; en la sección 4.1.1 ya se indicaron algunas características de la producción que se maneja actualmente, sin embargo es necesario considerar el plan de producción deseado por la administración. En un conversatorio con el personal laboral y administrativos, se pudo determinar que se busca una producción uniforme de dos veces la capacidad por lote (1.077.120 tubetes) que tiene toda la infraestructura de los Viveros de Itulcachi, es decir 2.154.240 tubetes; es necesario mencionar que esta aspiración se realizó considerando que se pueden sembrar plantas en los meses de enero a septiembre (por condiciones ambientales) y que las plantas de *Pinus Radiata* permanecen de 3 a 4 meses en siembra (dentro de los invernaderos) y de 4 a 5 meses en aclimatación (fuera de los invernaderos) (Mejía, 2013). Bajo estas consideraciones se estima que en los nueve meses disponibles para la siembra se procura alcanzar 239.260 plantas sembradas por cada mes. Por último es necesario considerar que se supone que durante 15 días al mes se realizan los trabajos de siembra y germinación.

Para esta sección se determinaron los ingresos y gastos en los que se debe incurrir para la utilización de los diferentes métodos propuestos para el análisis. Esta sección se divide en egresos fijos, los cuales resultan ser constantes para los tres escenarios propuestos, y también otros valores económicos variables.

6.3.1. Egresos Fijos para Todos los Métodos

A continuación se detallan los gastos y suposiciones que se mantienen estables para cada uno de los tres escenarios analizados:

- Semillas *Pinus Radiata* certificadas; este tipo de semillas con garantías en cuanto a su porcentaje de germinación son comercializadas por escasas compañías en el Ecuador, y Novopan ha construido una larga y beneficiosa relación comercial con una empresa en específico (por temas de confidencialidad de la empresa se mantiene en anónimo el nombre de la proveedora de semillas). Se estima que cada kg. de semillas de *Pinus Radiata* contiene cerca de 34.000 semillas y le cuesta a Novopan aproximadamente \$198,00 dólares, y se compran semillas en períodos anuales en vista de que su tiempo de pericidad es superior a los dos años (Olmedo, 2013). Se estimó que se necesitan 63 kg. de semillas anualmente para cumplir con el plan de producción descrito anteriormente.
- Fertilizantes; los gastos en sustancias para evitar el desarrollo de enfermedades en las plantas forestales, al igual que la aparición de organismos dañinos en los tubetes son de aproximadamente \$200,00 dólares al mes para dos viveros con capacidades similares a los viveros de Itulcachi (Mera, 2012).
- Nutrientes; para brindar las vitaminas y minerales que las plantas de *Pinus Radita* necesitan durante los procesos en los viveros, se emplean aproximadamente \$150,00 dólares al mes, es necesario mencionar que dentro de este grupo se ha incluido a los costos por hidratación de las plantas (Mera, 2012).
- Personal laboral; en los Viveros de Itulcachi trabajan actualmente 6 empleados de Tipo B, y un empleado de Tipo A, esta categorización se ha realizado en base a su salario mensual; se utilizaron estimaciones de \$318,00 y \$500,00 dólares respectivamente. Frente a este salario se calculó el valor real que invierte la

empresa por cada trabajador, incluyendo decimos, afiliación al seguro, vacaciones pagadas, entre otros beneficios salariales que considera las obligaciones del empleador en la Ley del Código Laboral del Ecuador (ELO, 2013); en el Anexo 19 se muestra el cálculo del valor real que invierte la empresa por trabajador.

- Otros gastos; se mantiene un valor de \$250,00 dólares mensuales para describir otros gastos operativos como electricidad, y otros factores necesarios para las operaciones en los viveros de Itulcachi. Este valor incluye una fracción para representar cualquier otro gasto que pudo haber sido no considerado en el análisis.

6.3.2. Ingresos y Egresos Variables a Cada Método

Cada uno de los métodos mostrados en la Tabla 19 presenta valores económicos específicos, de forma que en el Anexo20, Anexo 21 y Anexo 22 se muestran las estimaciones realizadas para cada escenario, y a continuación se describen específicamente cada valor económico obtenido:

Tipos de Sustrato:

- **Sustrato Berger Peat Moss (Actual)**

Este tipo de sustrato es adquirido en aproximadamente \$22,00 por saco (107 L. o $0,10 m^3$) y abastece para llenar cinco bandejas de tubetes (480 unidades) (Mejía, 2013). Por lo tanto para cumplir con el plan de producción se necesitan 498,66 sacos de sustrato, que se ha redondeado a 500 sacos mensuales por comodidad de pedido y transporte.

- **Sustrato de Elaboración Propia**

Para la utilización del sustrato de elaboración propia es necesario realizar una inversión inicial que consiste en la construcción y equipamiento de un nuevo invernadero pequeño (3m. x 5m.) donde se realizará la preparación del sustrato; se estima una inversión inicial de \$2.100,00 dólares, este valor se encuentra descrito en el Anexo 22 donde se muestran los Ingresos y Egresos para la utilización del Método 7.

Para crear este sustrato es necesario recolectar la corteza del *Pinus Radiata* desde las bodegas de almacenaje de madera de Novopan, por lo que se estima que el costo de esta materia prima es el valor al que la empresa compra la madera a sus distintos proveedores (\$33,00/ Ton. Húmeda de madera) (Racines, 2013). Adicionalmente, se considera que se necesita la contratación de dos operarios (salario \$318,00 dólares más beneficios) para encargarse de la separación y almacenaje de la corteza en los patios de almacenaje de la empresa (Mejía, 2013). También se necesita un proceso de esterilización de la corteza recogida, y finalmente dejar en reposo el material 2 meses aproximadamente hasta su uso (Olmedo, 2013). A continuación se muestra una tabla para el cálculo del valor estimado de un saco (100 L. o $0,10 m^3$) de sustrato de elaboración propia, obteniendo por resultado que cada saco cuesta \$0,12 dólares.

Costo Sustrato Elab. Propia			
Descripcion	Cantidad	Precio	Costo Total
Tonelada de Corteza (Densidad: 400 kg/m ³)	4	\$33,00/Ton. H.	\$ 132,00
Personal Necesario	2	\$ 445,20	\$ 890,40
Proceso Esterilización	1	\$ 150,00	\$ 150,00
Transporte y otros gastos	1	\$ 50,00	\$ 50,00
TOTAL			\$ 1.222,40

\$ 1.222,40	Ton. Sustrato	400 kg.	1m ³	=	\$ 0,12/ Saco(0,10m ³)
4 Ton. Sustrato	1000 kg.	1 m ³	10 Sacos		

Tabla 20: Cálculo del Costo de un Saco (0, 10 m³) de Sustrato de E. Propia.

Fuente: Elaboración Propia.

Tratamiento de Semillas:

Para el tratamiento de las semillas se necesita remojar durante tres minutos a las semillas a utilizarse durante el día de siembra en agua a temperatura aproximada de 75°C; en vista de que los costos de equipo y materiales son insignificantes, solo se consideró el valor de las horas de trabajo, suponiendo que se necesitan 15 horas para los 15 días respectivos donde se realiza la siembra al mes.

$\frac{\$ 445,20}{\text{Salario Mens.}} \times \frac{22 \text{ días}}{22 \text{ días}} \times \frac{8 \text{ hr.}}{8 \text{ hr.}} = \$ 2,53/\text{hr. Trabajo}$												
Costo Tratamiento Semillas												
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Descripcion</th> <th style="width: 30%;">Cantidad</th> <th style="width: 20%;">Precio</th> <th style="width: 20%;">Costo Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Horas Trabajo</td> <td style="text-align: center;">15 hr.</td> <td style="text-align: center;">\$ 2,53</td> <td style="text-align: center;">\$ 37,95</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">TOTAL</td> <td style="text-align: center;">\$ 37,95</td> </tr> </tbody> </table>	Descripcion	Cantidad	Precio	Costo Total	Horas Trabajo	15 hr.	\$ 2,53	\$ 37,95	TOTAL			\$ 37,95
Descripcion	Cantidad	Precio	Costo Total									
Horas Trabajo	15 hr.	\$ 2,53	\$ 37,95									
TOTAL			\$ 37,95									

Tabla 21: Cálculo del Costo Mensual por el Tratamiento de Semillas.

Fuente: Elaboración Propia.

Tratamiento de Sustrato:

Para calcular cuánto le cuesta a la empresa la actividad de realizar un tratamiento al sustrato se partió de que cada funda de Terraclor (500 g.) cuesta \$15,00, y se utilizará 5 gramos de este producto disuelto en 10 litros de agua por cada saco de sustrato (0,10 m³). Adicionalmente suponiendo que se siembra al cada mes durante 15 días, se estima que se necesita de 15 horas hombre/trabajo (\$2,53) para realizar la esterilización de todo el sustrato utilizado por cada mes. En la siguiente tabla se muestra la estimación del costo de realizar el Tratamiento del sustrato:

$\frac{\$ 15,00}{\text{Terraclor (500g.)}} \times \frac{5 \text{ g.}}{\text{Saco Sustrato}} = \$ 0,15/\text{Saco(0,10m}^3\text{)}$																
Costo Tratamiento Sustrato																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 30%;">Descripcion</th> <th style="width: 30%;">Cantidad</th> <th style="width: 20%;">Precio</th> <th style="width: 20%;">Costo Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Terraclor</td> <td style="text-align: center;">500 Sacos Sustrato (0,10 m³)</td> <td style="text-align: center;">\$ 0,15</td> <td style="text-align: center;">\$ 75,00</td> </tr> <tr> <td>Horas Trabajo</td> <td style="text-align: center;">15 hr.</td> <td style="text-align: center;">\$ 2,53</td> <td style="text-align: center;">\$ 37,95</td> </tr> <tr> <td colspan="3" style="text-align: right;">TOTAL</td> <td style="text-align: center;">\$ 112,95</td> </tr> </tbody> </table>	Descripcion	Cantidad	Precio	Costo Total	Terraclor	500 Sacos Sustrato (0,10 m ³)	\$ 0,15	\$ 75,00	Horas Trabajo	15 hr.	\$ 2,53	\$ 37,95	TOTAL			\$ 112,95
Descripcion	Cantidad	Precio	Costo Total													
Terraclor	500 Sacos Sustrato (0,10 m ³)	\$ 0,15	\$ 75,00													
Horas Trabajo	15 hr.	\$ 2,53	\$ 37,95													
TOTAL			\$ 112,95													

Tabla 22: Cálculo del Costo Mensual por el Tratamiento de Sustrato.

Fuente: Elaboración Propia.

Trichoderma:

Para el caso de utilización de la Trichoderma, tal como se mencionó en la sección 5.2.3.5, se necesita aproximadamente 0,4 litros de Trichoderma pura por cada 1000 tubetes sembrados; en base a esta suposición, y tomando en cuenta que cada litro de Trichoderma cuesta cerca de \$20,00 dólares, se calculó el costo mensual de la utilización de este biocontrolador. Adicionalmente se agregó 15 horas hombre/trabajo (\$2,53) para la realización del riego.

$\frac{\$ 20,00}{\text{Trichoderma 1L.}} \left \frac{0,4 \text{ L.Trichoderma}}{1000 \text{ tubetes}} \right = \$ 0,008/\text{Tubete}$			
Descripcion	Cantidad	Precio	Costo Total
Trichoderma	239360 tubetes	\$0,008/tubete	\$ 191,68
Horas Trabajo	15 hr.	\$ 2,53	\$ 37,95
TOTAL			\$ 229,63

Tabla 23: Cálculo del Costo Mensual por la Utilización de Trichoderma.

Fuente: Elaboración Propia.

Ingresos Variables a cada Método:

Para el cálculo de los ingresos es necesario mencionar que las plantas producidas en los Viveros de Itulcachi no se comercializan directamente, ya que son utilizadas en las plantaciones de la misma empresa; sin embargo se considera que cada planta de *Pinus Radiata* luego del procesos que se realiza en los Viveros tiene un valor en el mercado de \$0,16 dólares, de manera que este será el indicador para calcular los ingresos monetarios. Con el porcentaje de emergencia luego de 21 días (variable de respuesta en el diseño experimental) y con un factor estable de mortalidad del 5% post emergencia (Mejía, 2013), se calculan el número de plantas que podrán transformarse en ingresos luego de su período en los Viveros de Itulcachi.

En este punto es necesario mencionar que para los métodos 1 y 6 se utilizará la cota superior del intervalo de confianza del porcentaje de emergencia luego de 21 días, mientras que para el método 7 se utiliza la cota inferior del intervalo de confianza, tal

como se resalta en la Tabla 19. Esta consideración es tomada debido a que el cambiar del sustrato actual a un sustrato de elaboración propia implica varios riesgos, y se espera que la empresa al ya tratar con el sustrato actual durante más de 2 años, podría alcanzar la cota superior del porcentaje de emergencia, mientras que en un procedimiento nuevo que implica la elaboración de un sustrato propio, se comenzaría obteniendo resultados referentes a la cota inferior.

Tal como se especificó en la planificación de producción al inicio de la Sección 6.3. existen en el año nueve meses de producción o siembra de plantas lo que daría por resultado a nueve meses de despacho de plantas. A través de la siguiente ecuación se calcularon los ingresos por cada mes de despacho:

$$\begin{aligned} \text{Ingresos Mes Despacho} &= \text{Número de Plantulas Producidas} * \$0,16 \\ &= \text{Tubetes Sembrados} * \% \text{Emergencia} * \% \text{Supervivencia} * (\$0,16) \end{aligned}$$

Ecuación 19: Cálculo de Ingresos por Mes de Despacho

Fuente: Elaboración Propia.

Al calcular los ingresos mensuales para cada uno de los métodos analizados, y bajo las suposiciones realizadas se obtienen los resultados mostrados en la siguiente tabla:

N° Método	Tubetes Sembrados (Mes Producción)	Porcentaje de Emergencia luego de 21 días		Porcentaje Supervivencia	Plantulas Producidas	Costo Planta	Ingresos Totales
1	239360	Cota Superior	89,19%	95%	202810,925	\$ 0,16	\$ 32.449,75
6		Cota Superior	85,80%		195102,336		\$ 31.216,37
7		Cota Inferior	78,79%		179162,157		\$ 28.665,95

Tabla 24: Cálculo y Resultados de los Ingresos por Mes de Despacho.

Fuente: Elaboración Propia.

6.4. Determinación de la tasa de descuento.

Es necesario determinar la tasa de descuento que se utilizará para evaluar los tres métodos que se están analizando. Basados en el concepto de la Tasa Mínima Aceptable de Rendimiento (TMAR) se determina la tasa de descuento a utilizarse; es

necesario mencionar que este valor se obtuvo a partir de información proporcionada por el departamento de plantaciones forestales de Novopan.

La empresa considera que para la realización de un proyecto se debe obtener un margen de utilidad del 30% sobre lo invertido, dentro de un período de tiempo de 2 años (Olmedo, 2013). Por lo tanto la TMAR anual es igual a 15%, este valor fue transformado para los períodos utilizados en los flujos de efectivo, que para el caso es meses. La transformación de la tasa anual a una mensual se realizó según las especificaciones mostradas en el libro Ingeniería Económica de Blank y Tarquin; a continuación se muestra el cálculo:

$$TMAR_{Mensual} = (1 + TMAR_{Anual})^{\frac{1}{12}} - 1$$

$$TMAR_{Mensual} = (1 + 0,15)^{\frac{1}{12}} - 1 = 1,17\%$$

Ecuación 20: Transformación de tasa anual a mensual.

Fuente: (Blank & Tarquin, 2007).

6.5. Diagramas de Flujo de Efectivo para los Distintos Escenarios

Se construyeron flujos de efectivo mensuales tomando en cuenta un período total de dos años (este período de tiempo fue determinado ya que a los 24 meses de cada proyecto, se podría evidenciar diferencias significativas); también es necesario indicar que los flujos de efectivo se encuentran capitalizados al final de cada mes. En el Anexo 23, Anexo 24 y Anexo 25 se muestran los flujos de efectivo para cada uno de los métodos analizados:

N° MET	Sustrato	Trat. Sus	Trat. Sem	Trichoderma
1	Actual	No	Si	No
6	Actual	No	No	No
7	Elab. Propia	Si	Si	Si

Tabla 25: Métodos Seleccionados para Análisis Económico

Fuente: Elaboración Propia.

Y a continuación se muestran los diagramas de flujos de efectivo:

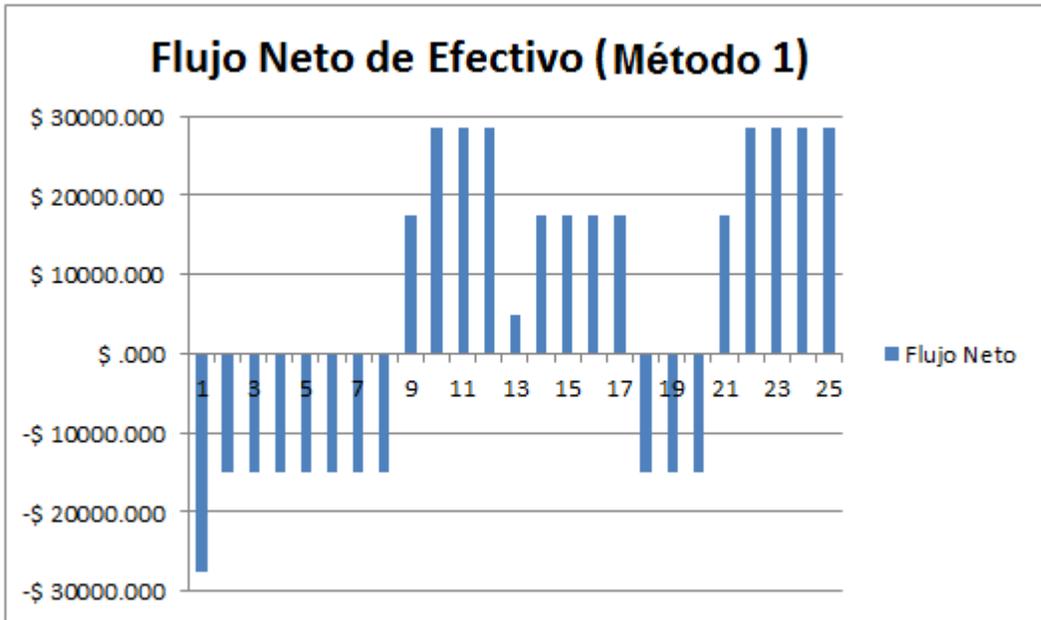


Figura 30: Diagrama del Flujo Neto de Dinero para el Método 1

Fuente: Elaboración Propia.

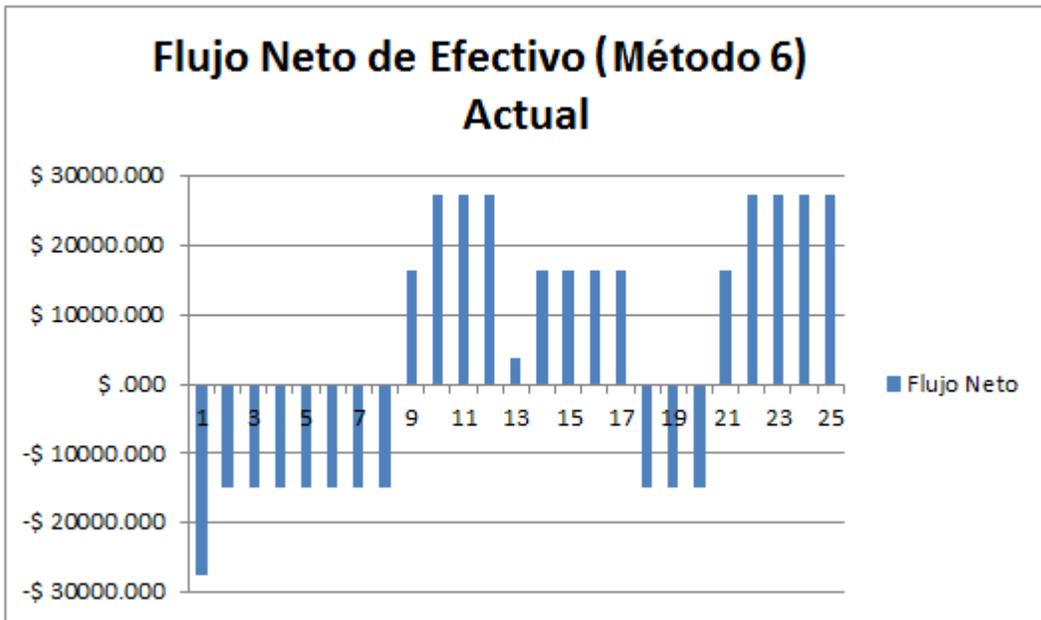


Figura 31: Diagrama del Flujo Neto de Dinero para el Método 6

Fuente: Elaboración Propia.

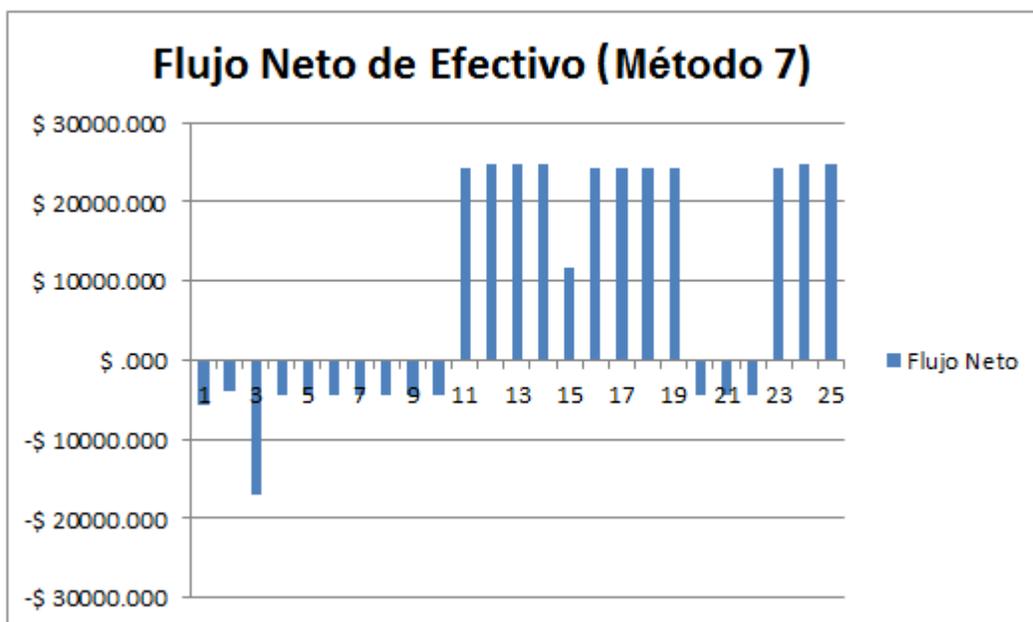


Figura 32: Diagrama del Flujo Neto de Dinero para el Método 7

Fuente: Elaboración Propia.

6.6. Indicadores Económicos de Desempeño

Para cada uno de los métodos analizados a través de los flujos de dinero en la sección anterior se calculó el Valor Presente Neto (VPN), y el Valor Futuro Neto (VFN) en función de las tasas respectivas de descuento para los ingresos y egresos, tal como se mencionó en la sección 6.4., en la siguiente tabla se exponen los resultados obtenidos:

N° Tratamiento	Valor Presente Neto (VPN)	Valor Futuro (VFN)
1	\$ 416.800,83	\$ 540.661,31
6	\$ 400.958,76	\$ 520.111,45
7	\$ 319.198,77	\$ 414.054,89

Tabla 26: Resultados de los VPN, VFN y TIR para cada Método.

Fuente: Elaboración Propia.

Tal como se puede observar en la anterior tabla, el Método 7 presenta los mejores resultados en cuanto VPN, VFN, seguido por el Método 1, y finalmente el Método 6 (actual); estos resultados demuestran que pese a que el Método 1 presentaba

los valores más altos para el indicador utilizado en el Diseño Experimental (Porcentaje de emergencia del *Pinus Radiata* luego de 21 días), el método con mejor desempeño económico representa el número 7. Esta diferencia en los indicadores económicos se debe principalmente a que el Método 7 propone la elaboración de un sustrato propio, y de esta manera evitar la compra externa de este material. Para un período de estudio de dos años, la diferencia de VFN entre el Método 7 y el Método 6 (actual) representa \$106.056,56 dólares.

Es necesario mencionar que para la evaluación de las alternativas no se utilizó la Tasa Interna de Retorno (TIR) ya que este indicador presenta dificultades al comparar proyectos donde el flujo de efectivo neto tenga más de un cambio de signo durante el período de estudio; y no se tenga el mismo riesgo entre las alternativas (Blank & Tarquin, 2007).

6.7. Selección del Mejor Escenario Respecto a Resultados Económicos

El mejor escenario obtenido a partir del análisis económico consiste en la utilización del Método 7: Sustrato (Elaboración Propia), Tratamiento de Sustrato (Si), Tratamiento de Semillas (Si) y utilización de Trichoderma (Si). Este método obtuvo los mayores indicadores de desempeño económicos; Valor Presente Neto (VPN) y Valor Futuro Neto (VFN) en comparación con el Método 1 y el Método 6 (actual). Se determinó que la diferencia en VFN del Método 7(propuesto) y el Método 6(actual) es de \$106.056,56 dólares.

7. CAPÍTULO VII: PUNTO DE CONTROL ESTADÍSTICO EN LA ETAPA DE POST EMERGENCIA PARA CONDICIONES ACTUALES

En la industria forestal se emplea el muestreo de aceptación para determinar límites de aceptación o rechazo en función de la calidad y supervivencia de las plantas, para seleccionar solo las mejores plantas para su futuro cultivo. (Rojas & Murillo, 2000). Sin embargo el problema con la técnica del muestreo consiste en que su alcance se limita a la determinación de los límites de especificaciones, y no se menciona ningún procedimiento que pueda determinar las causas asignables, ni acciones a tomar para mantener la producción bajo las condiciones aceptables (Mejía, 2013). Por lo tanto, una mejor herramienta en este punto es la construcción de un diagrama de control que indique límites bajo los cuales se puede controlar el comportamiento del número de plantas no emergidas, seguido por un plan para la identificación de causas asignables, y de un plan de acción frente a puntos fuera de control estadístico.

7.1. Ubicación Punto de Control e Indicador

En la Sección 5 y Sección 6 se pudo determinar que en el proceso de germinación el mejor escenario, en función de conceptos de desempeño y económicos, se obtiene con la utilización del Método N°7; sin embargo el alcance de este proyecto llega hasta la propuesta del mejor método, y para el punto de control estadístico en la etapa de post emergencia se utilizará la información actual de los Viveros de Itulcachi, es decir, bajo el Método N°6 (actual).

Adicionalmente, la construcción del diagrama de control estadístico con el Método N°7 (propuesto) necesita un número extenso de muestras, lo que solo se lograría si: los administrativos de la empresa aceptaran la propuesta de esta Tesis, se comenzara con la planificación e implementación del plan para el cambio de método en la etapa de germinación, y finalmente se utilizara el método en varios lotes de producción; lo cual significa períodos extensos de tiempo y no son prácticos para la resolución de este proyecto, por lo que no se tomó en cuenta dentro del alcance del proyecto.

En vista de que la producción en los Viveros de Itulcachi no es continua y se maneja a través de una producción por lotes, la propuesta para el punto estadístico de control será un diagrama de control para toda la producción.

Para la ubicación del punto de control estadístico se escogió a la etapa posterior a la emergencia del *Pinus Radiata*, es decir 21 días después de su siembra; por lo tanto el indicador que se utilizará consiste en el número de plantas no emergidas después de 21 días o la fracción de plantas no emergidas después de este período de tiempo.

Es necesario mencionar que la fracción disconforme que se considera en las en el diagrama de control representa el porcentaje complementario o restante, del indicador de desempeño que se utilizó para el diseño experimental; tal como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\text{Fracción disconforme } (p) = 1 - (\% \text{Emergencia luego de 21 días})$$

Ecuación 21: Relación Fracción Disconforme (p) y % de Emergencia

Fuente: Elaboración Propia.

Remplazando en la anterior ecuación al %Emergencia luego de 21 días (Ecuación 16) tenemos que:

$$\begin{aligned} \text{Fracción disconforme } p &= 1 - \frac{\text{Semillas Sembradas} - \text{Plantas No Emergidas (21 d.)}}{\text{Semillas Sembradas}} \\ &= \frac{\text{Plantas No Emergidas (21 d.)}}{\text{Semillas Sembradas}} \end{aligned}$$

Ecuación 22: Indicador para la Fracción Disconforme (p)

Fuente: Elaboración Propia.

Y debido a que el número de semillas sembradas por bandeja es un factor fijo (96), también se propuso el siguiente indicador que representa el número de disconformes (D):

Número de Disconformidades $D = \text{Plantas No Emergidas (21 d.)}$

Ecuación 23: Indicador para el Número de Disconformidades (D)

Fuente: Elaboración Propia.

Para finalizar esta sección, se resalta que cada uno de los indicadores propuestos son tomados luego de 21 días después de la siembra de las semillas.

7.2. Especificaciones del Diseño para el Diagrama de Control

Los indicadores que se utilizó para el análisis del diagrama de control consisten en la fracción disconforme (p) y el número de disconformidades (D), es necesario resaltar que ambos indicadores están relacionados entre sí, pero para objetivos de análisis se buscó analizar el desempeño de ambos indicadores. Por lo tanto, el diagrama de control considerará límites de control relacionados con las siguientes cartas de control:

- Carta de control para la fracción disconforme (p).
- Carta de control para el número de disconformidades (D) o (np).

Cada una de los diagramas de control utilizó los indicadores mostrados en las Ecuación 22 y Ecuación 23 respectivamente.

En este punto se puede destacar que un diagrama de control para el número de disconformidades, presenta una mayor facilidad de uso para el personal en general, ya que no se necesita ningún tipo de cálculo matemático antes de registrar el dato en el diagrama de control.

Ambos diagramas de control consideran que cada una de las muestras que se toman, representan una secuencia de (n) ensayos de Bernoulli con una probabilidad (p) de éxito; y cuando el número (n) de ensayos es grande, y se cumplen con otras condiciones, se puede aproximar la distribución Binomial a la Normal (Montgomery, 2006).

7.3. Política de Muestreo

Para ambos diagramas de control se utilizó la misma política de muestreo, la misma que se puede definir según Montgomery, a través de los siguientes tres parámetros: (1) número de muestras a analizarse, (2) tamaño de muestra y (3) frecuencia de muestreo (2006). A continuación se detallan cada uno de estos aspectos:

7.3.1. Numero de muestras a analizarse

Es necesario mantener la suposición demostrada en la Sección 5.3.2.1 de que no existe diferencia significativa entre los banales, con respecto al porcentaje de emergencia del *Pinus Radiata* luego de 21 días; esta suposición indica que cada una de las muestras es adecuada para las diagramas de control, y permitirán obtener resultados e interpretaciones apropiadas.

En la construcción y utilización de diagramas de control se busca analizar todos los banales que se producen en los Viveros de Itulcachi; se obtendrán tres muestras independientes por cada banal, de manera que se pueda obtener un análisis más profundo respecto a cada uno de los banales.

Por lo tanto el concepto de subgrupo racional para el número de muestras que se analizó en este proyecto, involucra a tres muestras por cada uno de los banales producidos; también se debe resaltar que cada una de las muestras por banal se grafican de manera independiente (no se utiliza promedio), para de esta forma poder identificar patrones sistemáticos por cada banal.

Por último, cada una de las tres muestras por banal son tomadas respecto a una política específica, donde se divide al banal en tres partes y se toma una muestra aleatoria de cada una de las partes respectivas. En el Anexo 26 se muestra cómo funciona esta política para los banales en los viveros de Itulcachi. Y en el Anexo 27 se indican los números aleatorios para la selección de muestras en las secciones respectivas, utilizando estas guías se pueden analizar hasta 216 banales en total, y cuando se llegue a esta cantidad se puede comenzar nuevamente con los números aleatorios de los primeros banales.

7.3.2. Tamaño de muestra

Considerando que cada bancal en los Viveros de Itulcachi tiene 48 o 60 bandejas, se consideró que cada bandeja representaría una muestra para el diagrama de control. Cada bandeja tiene 96 tubetes, como ya se ha mencionado en el transcurso del proyecto, de tal forma que el tamaño de muestra (n) es igual a 96 para ambos diagramas de control construidas.

7.3.3. Frecuencia de muestreo:

La frecuencia de muestreo para los diagramas de control es un parámetro que responde a la producción, y en los Viveros de Itulcachi la producción de plantas se realiza a través de lotes de producción. La tasa de producción de plantas depende del siguiente eslabón en la cadena de suministro (Producción pull), sin embargo la administración ha comentado que se busca establecer una producción unificada para el futuro (Olmedo, 2013). En la Tabla 4 se mostró la producción de plantas de enero 2011 a enero del 2013, pero esta información no muestra evidencia de un comportamiento estable en la producción, y resalta la intención por los administrativos de unificar la producción de plantas en los Viveros de Itulcachi. Tomando en cuenta estas características en la producción de los Viveros de Itulcachi, la frecuencia de muestreo implica que se obtendrán muestras de absolutamente toda la producción (bancales) que se obtenga.

7.4. Construcción de los Diagramas de Control

La construcción de los diagramas de control para la fracción disconforme (p) y el número de disconformidades (np) se realizó luego de tomar 75 muestras en total (25 bancales) que fueron sembrados en los meses de febrero y mayo del 2013; para el registro de información se tomó en cuenta la política de muestreo referida en la sección anterior.

En el Anexo 28 se encuentran los registros del número de plantas no emergidas luego de un período de 21 días (D), al igual que el cálculo de la fracción disconforme de cada muestra (p). El siguiente paso fue demostrar el cumplimiento según la distribución normal de la información recogida, donde se empleó un diagrama de probabilidad

normal en Minitab para demostrar este supuesto; en el Anexo 29 se muestra el diagrama de probabilidad normal realizado.

Las muestras iniciales sirvieron para determinar los límites de control de prueba para los diagramas respectivos, considerando que no existía ningún valor estándar dado. La anchura de los límites de control fue de tres sigma (3σ), tomando en cuenta que esta medida es la sugerida (Montgomery, 2006) y también considerando que los datos recogidos si se comportaban adecuadamente bajo este parámetro; los límites de control fueron construidos a partir de las referencias de las cartas de control (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006). En la siguiente tabla se muestran los resultados de los límites de control iniciales o de prueba que se obtuvieron para ambos diagramas de control:

Límite de Control	Diagrama p		Diagrama np	
Superior (UCL)	$\bar{p} + 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	0,30	$n\bar{p} + 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	28,50 \approx 28
Central	\bar{p}	0,18	$n\bar{p}$	17,27 \approx 17
Inferior (LCL)	$\bar{p} - 3\sqrt{\frac{\bar{p}(1-\bar{p})}{n}}$	0,06	$n\bar{p} - 3\sqrt{n\bar{p}(1-\bar{p})}$	5,95 \approx 6

Tabla 27: Cálculo de los Límites de Control de Prueba para la Diagrama p y Diagrama np

Fuente: Elaboración Propia.

Para el caso de los límites del diagrama de control del número de disconformidades (Diagrama np), los límites fueron redondeados; en el caso de los límites superior (UCL) e inferior (LCL) se redondeó al número más alejado de la media, mientras que para la línea central se redondeó al valor entero más cercano. El redondeo de los límites se lo realizó tomando en consideración que el número de disconformidades (D) o indicador de este diagrama representa un número entero, y en vista de que no se utiliza ningún tipo de promedios, y se grafican todas las muestras,

resulta viable que los límites también sean número enteros. El redondeo de los límites superior e inferior fue realizado bajo la consideración de reducir el error tipo I, es decir, la probabilidad de rechazar la hipótesis nula o de control, cuando esta en realidad es cierta.

En base de los límites especificados en la tabla anterior se prosiguió a la construcción de los diagramas de control para la fracción disconforme (p) y el número de disconformidades (np); a seguir se muestran ambos diagramas:

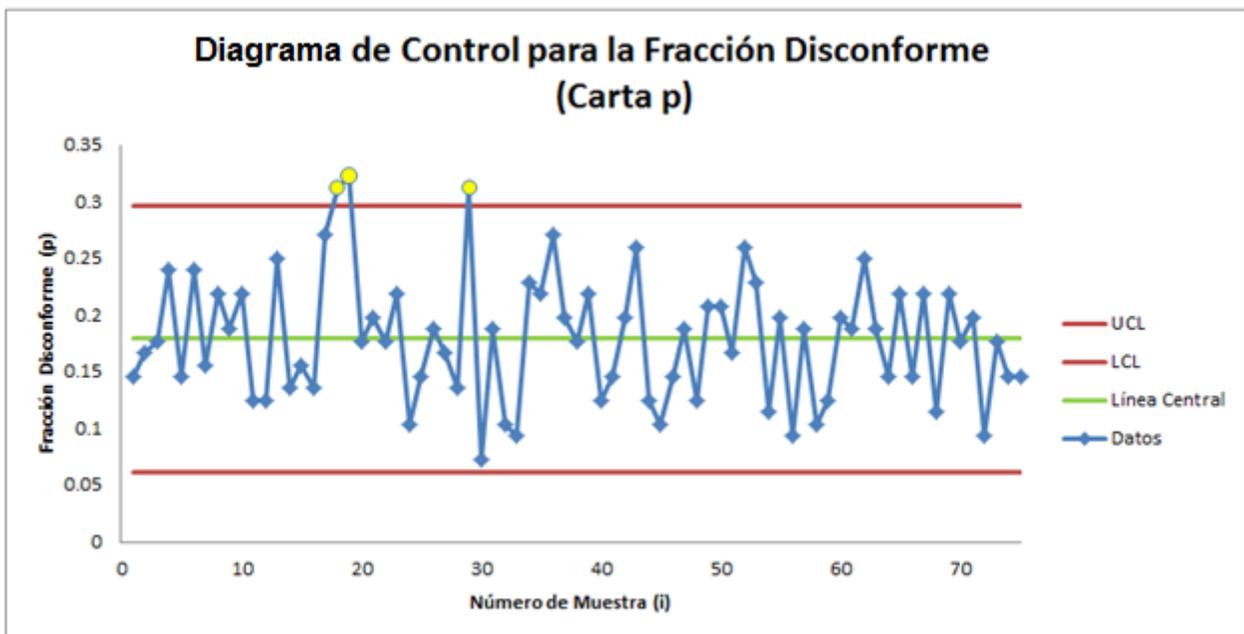


Figura 33: Diagrama p con Límites de Control de Prueba

Fuente: Elaboración Propia.

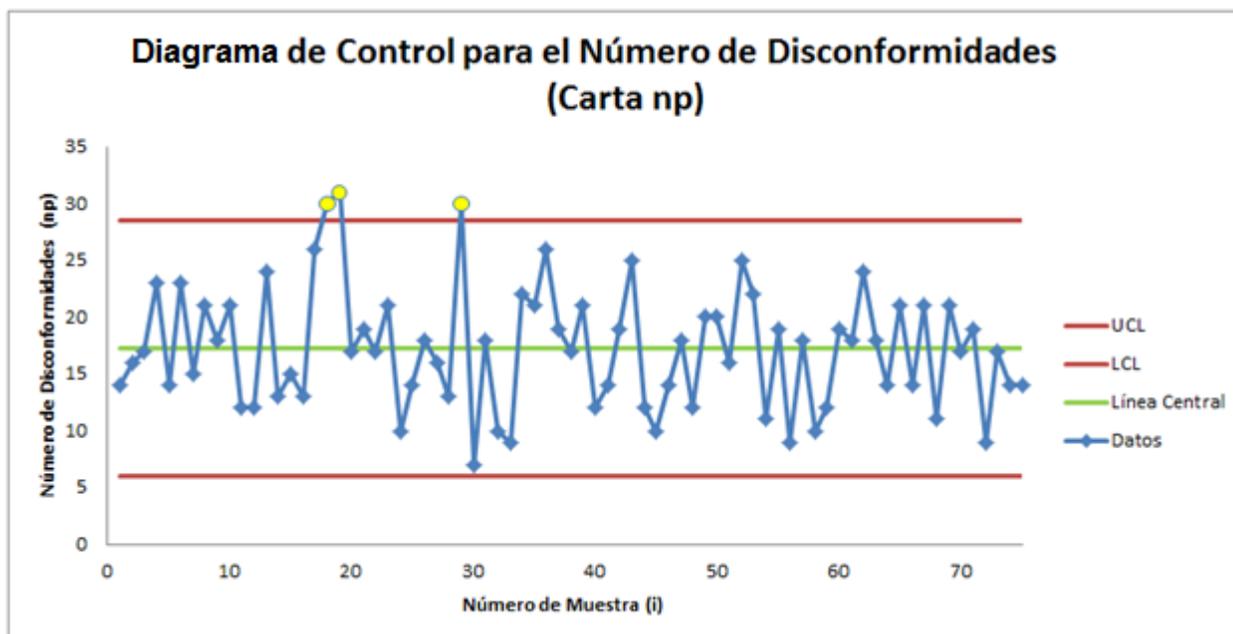


Figura 34: Diagrama np con Límites de Control de Prueba

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede notar en ambos diagramas, la disposición de los datos es bastante similar, esto se debe a la intrínseca relación que ambas diagramas de control tienen. Se puede observar que el proceso analizado de emergencia luego de 21 días no se encuentra bajo control ya que los puntos 18, 19 y 29 se encuentran por encima del límite superior de control (UCL); adicionalmente no se pudo identificar ningún tipo de patrón sistemático considerable.

A continuación se analizaron las muestras que representaban a los puntos fuera de control. Pese a que los puntos 18 y 19 pertenecen a dos bancales distintos, se pudo evidenciar que las muestras representaban a secciones de bancales que se encontraban siendo regados por el mismo aspersor de agua; esto brindó información relevante con respecto a que un motivo o causa asignable para que estos puntos se encuentren fuera de control sería el riego. Adicionalmente en un conversatorio con el personal del Vivero, se concluyó que se había proporcionado un riego excesivo a estas muestras (Itta, 2013) y por esa razón la fracción disconforme (p) y el número de disconformidades (D) se encontraban por encima del límite superior de control (UCL).

El otro punto fuera de control, de la muestra número 29, fue analizado, sin embargo no se observó ninguna característica en el resto del bancal o en el vivero que justifiquen este dato. Adicionalmente el resto del bancal mostraba un adecuado porcentaje de emergencia, por lo que se pudo concluir que esta muestra fuera de control se debió a la imprudencia de los operarios al momento de colocar las semillas. Esta interpretación se realizó considerando los fines prácticos de la tesis, y se advirtió al personal del vivero que esta muestra en específico había resaltado un punto fuera de control para el proceso, por lo que se sugirió el seguir buscando una causa específica.

Luego de eliminar los puntos fuera de control a los que se atribuyeron causas asignables, se continuó por encontrar los nuevos límites de control para ambos diagramas, los mismos se muestran a continuación:

Límite de Control	Diagrama p	Diagrama np
Superior (UCL)	0,289	27,818 ≈ 27
Central	0,174	16,681 ≈ 16
Inferior (LCL)	0,057	5,543 ≈ 6

Tabla 28: Límites Control Finales para el Diagrama p y Diagrama np

Fuente: Elaboración Propia.

Con estos límites se construyeron la nueva Diagrama p y Diagrama np, donde se pudo evidenciar que no había puntos fuera de control ni patrones sistemáticos, por lo que se consideró al proceso de emergencia hasta el día 21 como bajo control estadístico. En el Anexo 30 y Anexo 31 se muestran el Diagrama p y Diagrama np respectivamente, utilizando los últimos límites de control determinados.

7.5. Análisis del Proceso Bajo Control

En esta sección se utilizó los índices de capacidad (C_p) para analizar el comportamiento actual del proceso de emergencia del *Pinus Radiata* hasta el día 21; y luego se determinó el nivel sigma (σ) actual del proceso al igual que la fracción estimada de defectos por millón de oportunidades (ppm).

7.5.1. Índices de Capacidad

Primero resultó necesario calcular los límites de especificación del sistema, y en un conversatorio con personal del Dpto. de Plantaciones Forestales de Novopan, se determinó que ellos esperan obtener el 83,5% de plantas emergidas hasta el día 21, para la especie *Pinus Radiata* (Mejía, 2013); Esta medida se determinó como el parámetro objetivo, en vista de que las semillas certificadas que la empresa compra, vienen con una garantía de germinación de tal manera que para el último lote de semillas compradas en enero-2013 se estipula que el 83,5% de semillas deben germinar apropiadamente. A partir de este valor y con la Ecuación 21 se calculó la fracción disconforme objetivo (p); y luego se determinaron los respectivos límites de especificación para los diagramas de control que se utilizaron, esta información se muestra a continuación:

Límite de Control	Diagrama p	Diagrama np
Superior (USL)	0,279	26,750 \approx 26
Central	0,165	15,840 \approx 16
Inferior (LSL)	0,051	4,929 \approx 5

Tabla 29: Límites de Control de Especificación para el Diagrama p y Diagrama np

Fuente: Elaboración Propia.

Habiendo determinado los límites de especificación se prosiguió a calcular los índices de capacidad del proceso de acuerdo a el Diagrama p y Diagrama np, los mismos que fueron comprobados con el software Minitab, ver Anexo 32 y Anexo 33 respectivamente; a seguir se muestran los resultados obtenidos:

Índice de Capacidad		
	Diagrama p	Diagrama np
Cp	0,98	0,94
CPL	1,06	1,05
CPU	0,90	0,84
Cpk	0,90	0,84

Tabla 30: Índices de Capacidad en la Diagrama p y Diagrama np

Fuente: Elaboración Propia.

Estos resultados brindaron importante información del comportamiento del proceso, al igual que respecto al funcionamiento de ambos diagramas; comenzando por el hecho que el Diagrama p muestra una mayor capacidad del proceso en comparación con el Diagrama np. Pese a que ambos diagramas se relacionan directamente entre sí como ya se pudo evidenciar en las anteriores secciones, se debe tomar en cuenta que en el Diagrama np se utilizó límites de control redondeados a enteros, y el criterio de redondeo se justificó en reducir la probabilidad del Error tipo I del diagrama; esto implicó que la capacidad en ambos diagramas otorguen resultados diferentes.

Al observar que: $1 > C_p$, esto implica que el proceso se encuentra por debajo de su capacidad potencial, y al notar que : $C_p > C_{pk}$, se puede mencionar que el proceso se encuentra descentrado con respecto a los límites de especificación.

Para una mejor interpretación de los resultados se calculó el porcentaje de la banda de especificaciones que utiliza el proceso, obteniendo que el proceso utiliza el 102,04% de las bandas de especificación.

$$P = \frac{1}{C_p} 100\% = \frac{1}{0,98} 100\% = 102,04\%$$

Ecuación 24: Porcentaje de la Banda de Especificaciones para el Diagrama p

Fuente: Elaboración Propia.

Mientras en el Diagrama np, el proceso utiliza 106,38% de las bandas de especificaciones.

$$P = \frac{1}{C_p} 100\% = \frac{1}{0,94} 100\% = 106,38\%$$

Ecuación 25: Porcentaje de la Banda de Especificaciones para el Diagrama np

Fuente: Elaboración Propia.

7.5.2. Nivel Sigma del Proceso

Para realizar el cálculo del nivel sigma (σ) del proceso, Montgomery menciona que se deben cumplir los siguientes supuestos: (1) la característica de la calidad tiene

una distribución normal, (2) el proceso está bajo control estadístico y (3) la media del proceso se encuentra centrada entre los límites superior e inferior de especificación (2006). El supuesto de normalidad fue comprobado y se muestra en el Anexo 29, mientras que los otros supuestos ya han sido comprobados en las secciones anteriores.

Sabiendo que los datos siguen una distribución normal se calculó la probabilidad de que una muestra aleatoria se encuentre fuera de los límites de especificación para la Diagrama p y la Diagrama np con la Ecuación 26, luego se calculó la cantidad de defectos por millón de oportunidades (DPMO) y finalmente se relacionó a cada diagrama con su respectivo nivel sigma (σ), a continuación se muestran los resultados:

$$P \ LSL < \mu < USL = \Phi \frac{USL - \mu}{\sigma} - \Phi \frac{LSL - \mu}{\sigma}$$

Ecuación 26: Probabilidad de Obtener una Muestra dentro de los Límites de Especificación

Fuente: (Montgomery, Control Estadístico de la Calidad, 2006).

	P(LSL<x<USL)	DPMO	Sigma
Diagrama p	0,996012	3988	2,7
Diagrama np	0,993144	6856	2,5

Tabla 31: Cálculo del Nivel Sigma en el Diagrama p y Diagrama np

Fuente: Elaboración Propia.

Como se puede observar, el proceso presenta un mayor DPMO que el esperado con un nivel sigma de 3,0 (2700), es por esta razón que el nivel sigma del proceso es de 2,7 y 2,5 respectivamente para el Diagrama p y la Diagrama np. Pese a que el Diagrama p presenta un mayor nivel sigma y un menor DPMO, el diagrama que se sugiere a la empresa es el Diagrama np, en vista de la facilidad para la recolección de información.

7.6. Sensibilidad del Diagrama de Control

Se construyó la función de operación característica (OC) del diagrama de control para el número de disconformidades (np), donde se busca analizar la habilidad del

diagrama de control para detectar un corrimiento de la línea central respecto al número de disconformidades (D); esta medida de sensibilidad se relaciona con aceptar erróneamente la hipótesis de control y también se la conoce como error tipo II o (β) (Montgomery, 2006). Es necesario mencionar que solo se calculó la curva OC para la Diagrama np, en vista de que esta será el diagrama de control que se propondrá a la empresa en vista de que es más fácil de manipular, y sus niveles de capacidad no difieren significativamente con los de la Diagrama p con un 95% de confiabilidad.

En el Anexo 34 se muestra el cálculo de la probabilidad del error tipo II (β) dependiendo del corrimiento respecto a la media del número de disconformidades (D); también en el Anexo 34 se calculó la longitud promedio de la corrida (ARL) si el proceso se encuentra fuera de control, es decir, cuantas muestras se necesitan para detectar el corrimiento respecto a la media del número de disconformidades (D). A continuación se muestra la curva OC para el diagrama de control (np):

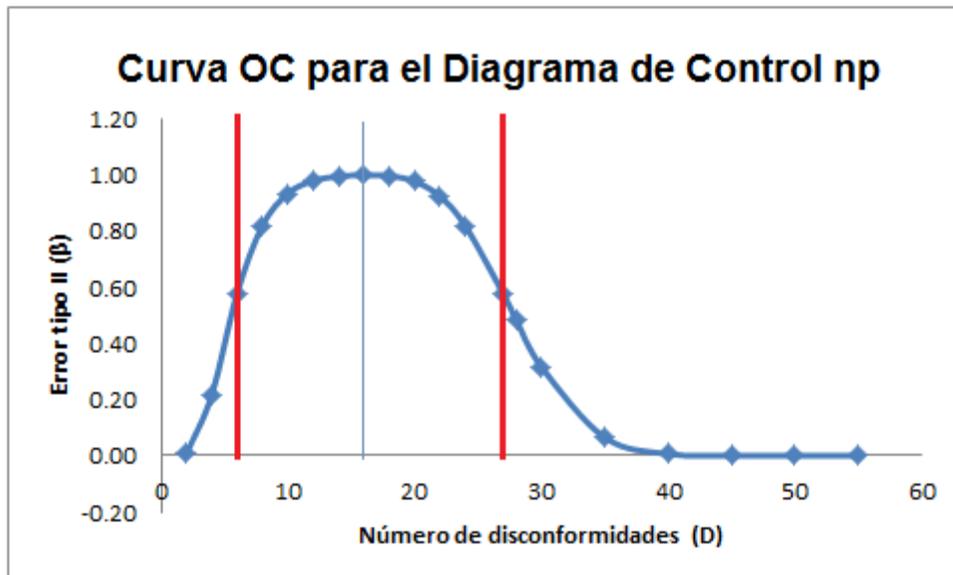


Figura 35: Curva de Operación Característica OC para el Diagrama np

Fuente: Elaboración Propia.

En este diagrama se puede notar que para detectar un corrimiento de la media hasta los límites de especificación, el error tipo II se encuentra entre 57% y 58%, y en el

Anexo 34 se evidencia que se necesitaría solo de 2 muestras para detectar este corrimiento, lo cual resulta bastante beneficioso para los objetivos de estudio.

7.7. Plan de Acción para Puntos Fuera de Control

La elaboración de un plan para identificar causas asignables y actuar de manera correctiva frente a las distintas situaciones fuera de control representa una parte trascendental en el control estadístico de procesos (Montgomery, 2006). Por ello se elaboró a través de flujogramas todo un proceso para identificar causas asignables, ya sean para: (1) puntos por encima del UCL, (2) puntos por debajo del LCL y (3) patrones sistemáticos encontrados; este mapa de actividades se muestra en el Anexo 35. También es necesario vincular la causa asignable con un plan de acción para situaciones fuera de control (OCAP), por lo que se elaboró una tabla donde se muestra las acciones correctivas o soluciones para las causas asignables previamente identificadas, el OCAP se muestra en el

Anexo 36. En el procedimiento para identificar causas asignables se marcó entre paréntesis al número de causa asignable que se puede detectar en la respectiva actividad, este número se localiza en el OCAP y de esta manera se puede determinar la causa y medidas correctivas.

Existe una relación directa entre el plan para identificar las causas asignables y el OCAP, de manera que al observar puntos que determinen que el proceso está fuera de control, se debe actuar con estos dos manuales de manera conjunta. Cabe recalcar que el OCAP brinda soluciones correctivas para la producción de futuros lotes, esto se debe a que el sistema de producción que se maneja en los Viveros de Itulcachi es por lotes.

7.8. Propuesta de Implementación de Diagrama de Control

La implementación del proyecto de un punto de control estadístico en la etapa de post emergencia debe manejarse bajo ciertas instrucciones o consideraciones y a su vez, implica un alto compromiso por parte del personal administrativo y de la organización en general. Nuevamente se resalta que el diagrama de control no elaborada se basa en situaciones actuales dentro del manejo de los Viveros de

Itulcachi, sin embargo para cambios en los procesos se debería redefinir los límites de control, en el Anexo 37 se muestra el formato del diagrama de control propuesta. También es necesario recalcar que el diagrama de control propuesta se debe manejar como un diagrama de control para toda la producción ya que la producción en los Viveros de Itulcachi se maneja a través de lotes. En esta sección se muestran puntos específicos a considerarse para una adecuada implementación del punto de control estadístico.

7.8.1. Consideraciones para Punto de Control Estadístico

En el Anexo 37 se muestra el formato preparado para el diagrama de control para número de disconformidades (D) o Diagrama np, en la etapa de post emergencia. Es necesario considerar que para la implementación de un sistema de control estadístico a corto y a largo plazo se necesitan de instrucciones relevantes, entre las cuales se ha seleccionado a las siguientes cuatro: (1) revisión y rediseño de los límites de control, (2) capacitación al personal para toma de medidas y manejo del diagrama y (3) capacitación en el manejo del OCAP (Montgomery, 2006).

1. La revisión de los límites de control debe realizarse de manera periódica, debido a que se pueden producir corrimientos de la media u otros cambios en el desempeño del proceso, para este caso se propone una revisión mensual de los límites o cuando se muestre un corrimiento detectable en las observaciones de el diagrama de control propuesta, Anexo 37. En cuanto al rediseño de los límites de control se deben seguir los procedimientos mostrados en la Sección 7.3 y Sección 7.4, donde se construyen los límites a partir de 75 muestras respectivas a 25 bancales; es necesario recalcar que el rediseño de los límites de control también está sujeto a cualquier cambio en el proceso de emergencia hasta el día 21.
2. La persona o las personas encargadas del registro de datos y utilización del diagrama de control deben ser capacitadas en cuanto a la política de muestreo mencionada en la Sección 7.3. Y en general se debe informar a todo el personal involucrado con el proceso de emergencia hasta el día 21, del funcionamiento

del diagrama de control como una ayuda a la mejora del desempeño y reducción de la variabilidad del proceso (Montgomery, 2006).

3. Al igual que la política de muestreo y la utilización del diagrama de control, la utilización del plan para identificar causas asignables y del OCAP, mencionados en la sección 7.7, representa un proceso estratégico en el punto de control a implementarse; en esta actividad se traducen los resultados del diagrama de control y se llegan a medidas correctivas de ser una causa asignable. La capacitación al personal y administrativos en este punto es fundamental, ya que para que el proceso mejore en su desempeño necesita de todo el personal involucrado.

7.8.2. Compromiso de la Organización

Ya se ha mencionado dentro de las instrucciones que el compromiso del personal involucrado al igual que de toda la organización es un aspecto necesario para el mejoramiento en el desempeño y reducción de la variabilidad del proceso. La empresa debe emplear una política administrativa relacionada directamente con los beneficios del control estadístico de procesos, si bien es cierto que Novopan se ha caracterizado en estos principios, esta política debe introducirse con mayor fuerza en el manejo de los Viveros de Itulcachi. Montgomery menciona seis aspectos fundamentales que se debe considerar en una política administrativa adecuada, estos son:

- I. Liderazgo de la administración.
- II. Enfoque en el trabajo en equipo.
- III. Capacitación de los empleados en todos los niveles.
- IV. Énfasis en la reducción de la Variabilidad.
- V. Medir el éxito en términos cuantitativos.
- VI. Comunicar resultados a toda la organización. (Montgomery, 2006)

Todos estos aspectos deben ser fomentados por Novopan del Ecuador S. A. y en específicos intereses del proyecto realizado, se debe transmitir dentro del personal del Dpto. de plantaciones forestales, ya que en esta área se busca levantar en nuevo punto de control estadístico.

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. Beneficios de Implementación de Propuestas

A través de este proyecto se ha podido determinar la importancia de herramientas, como las utilizadas en el diseño y análisis experimental al igual que en el control estadístico de procesos; de manera que se enfocan en el mejoramiento continuo del desempeño de un proceso, y a su vez en una política de calidad que busca la reducción de la variabilidad. Las propuestas que se desarrollaron a través de este proyecto podrían generar importantes beneficios en el desempeño de los Viveros de Itulcachi en la etapa de germinación de plantas, para la especie *Pinus Radiata*.

Para cuantificar los beneficios de las propuestas, se utilizaron indicadores estadísticos de desempeño, al igual que financieros. Se argumentó que el mejor método que puede ser utilizado en la etapa de germinación consiste en: (1) elaborar un sustrato propio para la utilización en los viveros, (2) dar un tratamiento de esterilización del sustrato previamente a su utilización, (3) realizar un tratamiento de escarificación a través de agua caliente a las semillas antes de su siembra y (4) utilizar trichoderma en la siembra. La utilización de este método significa que la emergencia del *Pinus Radiata* hasta el día 21, se mantendrá igual (82,29%) que si se siguiera utilizando el método actual, tal como se demostró en la sección 5.7.6; sin embargo se obtendrían ganancias adicionales de aproximadamente \$106.056,56 dólares en VFN dentro de un período de 2 años, como se justifica en la sección 6.6.

Adicionalmente, a través del diagrama para el control estadístico en la etapa de post emergencia se espera una reducción de variabilidad en la etapa de germinación y una mejora a largo plazo en su desempeño.

8.2. Conclusiones

- Novopan del Ecuador S. A. ha desarrollado proyectos donde se busca garantizar el aprovisionamiento propio de madera; los Viveros de Itulcachi representan un eslabón trascendental, ya que a través de los procesos operativos realizados en los viveros se busca una producción de 2'154.240 plantas al año. Estas plantas, mayoritariamente de la especie *Pinus Radiata*, serían transportadas cultivadas y

explotadas en las plantaciones que forman parte del patrimonio de la empresa, y también en aquellas plantaciones donde la empresa trabaja a través de convenios.

- Se pudo levantar los procesos de los que se encarga el Dpto. de Plantaciones Forestales de Novopan, donde (1) la producción de plantas, (2) el establecimiento de plantaciones y (3) el mantenimiento y manejo de plantaciones, representan los principales macro procesos. De estos se describió detalladamente la producción de plantas que se realiza en los Viveros de Itulcachi, partiendo por la cadena de valor.
- Se realizó un análisis causal para los procesos operativos en los Viveros de Itulcachi, donde se evidenció que el desempeño en la producción es un factor que se ve alterado directamente por la mortalidad de las plantas; partiendo por este problema se determinó que la mayoría de mortalidad en plantas se produce en la etapa de germinación. Luego de la utilización de herramientas de la calidad como un diagrama de Ishikawa y un árbol de eventos se llegó a identificar las causas y subcausas para los bajos porcentajes de emergencia dentro de la etapa de germinación.
- Se construyó un diseño factorial (3x2x2x2), donde se realizaron ensayos, sembrando 9216 planta de la especie *Pinus Radiata*, para determinar el mejor método en función de la emergencia de la planta mencionada hasta el día 21. Los resultados del análisis del diseño factorial determinaron que habían 15 diferentes métodos que brindaban resultados significativamente similares, tal como se muestra en la sección 5.7.6. Entre estos métodos se encontraba el método que era utilizado en ese tiempo en los viveros, por lo que parecía que no había como mejorar el desempeño en cuanto al porcentaje de emergencia luego de 21 días.
- Se desarrolló un análisis económico de los métodos pre seleccionados para demostrar la viabilidad de los proyectos que significaban la utilización de un método diferente al actual; argumentando que el Método 7 es la mejor alternativa con los mayores valores en VPN y VFN para un período de estudio de 24 meses.

Las características del Método 7 fueron descritas en la sección 8.1. donde también se mostraron sus beneficios.

- Por último se generó un punto de control estadístico para la etapa de post emergencia en el Pinus Radiata, utilizando el indicador: porcentaje de emergencia luego de 21 días. Se elaboró un formato de diagrama de control para toda la producción (Diagrama np) mostrado en el Anexo 37, un plan de identificación de causas asignables y un OCAP; con lo cual se busca reducir la variabilidad del proceso analizado y el mejoramiento continuo de su desempeño.

8.3. Recomendaciones

- La primordial recomendación para Novopan del Ecuador S. A. consiste en la implementación del método propuesto para la etapa de germinación en el Pinus Radiata, de manera que de esta forma se generarán ganancias significativas tal como se demostró en la sección 6.6.
- Si se desea analizar la influencia de factores como: temperatura, humedad e intensidad de luz, se recomienda realizar un diseño experimental en un laboratorio o un ambiente que permita controlar estos factores.
- También resulta recomendable la aplicación del punto de control estadístico desarrollado en la etapa de post emergencia, aunque es necesario tener en consideración que si se cambia el método para la etapa de germinación, será necesario un rediseño de los límites de control; es necesario considerar las recomendaciones para el diagrama de control de producción propuesto que se mencionan en la sección 7.8.
- Se recomienda utilizar las herramientas descritas en el diseño de experimentos, ya que de esta manera se pueden realizar y evaluar acertadamente una serie de ensayos en los Viveros de Itulcachi, con el fin de identificar mejoras en los procesos operativos.
- Se sugiere realizar proyectos complementarios en lo que respecta al control estadístico de procesos, tomando en cuenta el resto de etapas en la producción de plantas que se realiza en los Viveros de Itulcachi.
- Se recomienda realizar un proyecto de estudio para los tiempos y movimientos que se realizan en los procesos operativos dentro de los Viveros de Itulcachi, ya

que las actividades que realiza el personal son bastante monótonas y se manejan períodos extensos de trabajo.

- Para finalizar, también se recomienda el estudio de las características físicas y genéticas de las semillas; este estudio buscaría realizar algún tipo de clasificación y selección previa a la siembra en los Viveros de Itulcachi, al igual que un mejoramiento de la genética de las semillas.

BIBLIOGRAFÍA

- Agromat. (2011). *Materiales para la Agricultura Tecnificada. Nuestros Productos*. Recuperado el 14 de Abril de 2013, de <http://www.paginasamarillas.com.pe/viewPage.do?advertiseld=356035>
- Arahana, V., Arteaga, H., Tobar, J., Jaramillo, J., & Torres, M. (2012). Efecto de la temperatura, medios de cultivo y reguladores de crecimiento en la germinación. *Avances en Ciencias e Ingenierías (4)*; USFQ, 45-49.
- BCE. (Mayo de 2013). *Indicadores Financieros Banco Central del Ecuador*. Recuperado el Mayo de 2013, de http://www.bce.fin.ec/resumen_ticker.php?ticker_value=pasiva
- Biani, J., Ingrassia, L., Lanese, L., & Nussold, M. (2009). *Cemupro*. Recuperado el Noviembre de 2012, de Estudio comparativo del sector forestal; Chile, Uruguay y Brasil: http://www.cemupro.com.ar/wp-content/uploads/2010/11/trabajo_sector_forestal_comparativo.pdf
- Blank, L., & Tarquin, A. (2007). *Ingeniería Económica*. Bogotá: McGrawHill.
- Bustamante, I. (2012). Entrevista con Gerente General de Novopan. (S. González, Entrevistador)
- Casares, D., & Ubidia, J. (2012). *Manejo Sostenible en la Cadena de Suministro; Utilización del Modelo Green SCOR para la Determinación de la Huella de Carbono en Novopan del Ecuador S. A.* Quito: USFQ.
- CEPAL. (2000). *Perspectivas y restricciones al desarrollo sustentable de la producción forestal en América Latina*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2012, de Santiago de Chile: <http://www.eclac.cl/publicaciones/xml/5/6115/LCL1406P.pdf>
- Chavarria, M. (2006). *El uso de microorganismos beneficiosos: Biofertilizantes y Biocontroladores*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2012, de http://www.mag.go.cr/biblioteca_virtual_ciencia/biofertilizantes_biocontroladores.pdf

- Chopra, S., & Meindl, P. (2007). *Supply Chain Management, Strategy, Planning and Operation*. 3th Edition: Prentice Hall.
- CONABIO. (2009). *Catálogo taxonómico de especies de México*. México D.F.
- Damodaran, A. (2010). *Damodaran on Valuation*. Wiley Finance.
- Damodaran, A. (2013). *Damodaran on Valuation 2nd Edition Support* . Recuperado el Junio de 2013, de Cost of Capital by Secto: http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/New_Home_Page/datafile/wacc.html.htm
- ELO. (25 de 6 de 2013). *Ecuador Legal Online. Derechos y Obligaciones Trabajador y Empleador*. Recuperado el 22 de 7 de 2013, de <http://www.ecuadorlegalonline.com/laboral/obligaciones-derechos-como-empleador-y-empleado/>
- FAO. (2010). *La función de la industria forestal en el desarrollo sostenible*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2012, de <http://www.fao.org/docrep/v6585s/V6585s14.htm>
- Ferreira, J., & Otros. (Junio de 2011). *Diferenciacao da silvicultura de eucalipto e Pinus, na regio da Bacia Hidrográfica do Tibagi*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2012, de <http://www.lsie.unb.br/rbc/index.php/rbc/article/view/372>
- FING. (2013). *Facultad de Ingeniería; Universidad de la República - Uruguay*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2012, de <http://www.fing.edu.uy/>
- Fraume, N. J. (2007). *Diccionario Ambiental*. ECOE Ediciones.
- Harcharik, D. (2011). *El futuro del sector forestal mundial; la ordenación forestal sostenible*. Montes: FAO.
- Hawawini, G., & Viallet, C. (2010). *Finance for executives: Managing for value creation*. Mason: Thomson Learning.
- Hinkelmann, K. (2012). *Design and Analysis Of Experiments; Special designs and applications*. New Jersey: Wiley.

- Horngren, C., Datar, S., & Foster, G. (2007). *Contabilidad de costos*. México D.F.: Prentice Hall.
- INAMHI. (2012). *Anuario Meteorológico*. Recuperado el Diciembre de 2012, de <http://www.inamhi.gob.ec/index.php/clima/anuarios-meteorologicos>
- Itta, J. (2013). Entrevista con Personal del Vivero de Itulcachi, Novopan. (S. González, Entrevistador)
- Lameiro, P., & Diaz, I. (2000). Análisis de la significación del tamaño empresarial en el control de calidad en la industria del sector forestal. *Universidad de Santiago de Compostela*, 356-365.
- Maciel, N. (2001). Emergencia de la palma real venezolana en función de condiciones variables del fruto y la semilla. *Bioagro* 13(3), 105-110.
- MAGAP. (16 de Enero de 2013). *MAGAP implementa programa de incentivos para siembra de bosques con fines comerciales*. Recuperado el 19 de Febrero de 2013, de <http://www.agricultura.gob.ec/magap-implementa-programa-de-incentivos-para-siembra-de-bosques-con-fines-comerciales/>
- Mejía, A. (2013). Entrevista con Jefe de Plantaciones Forestales, Novopan. (G. Santiago, Entrevistador)
- Mena, S., & Suarez, D. (2011). *Análisis y Propuesta de Reducción de Desperdicio en el Proceso de Elaboración de Aglomerado en Novopan del Ecuador S. A.* Quito: USFQ.
- Mera, H. (2012). *Producción de Plantas de Acacia Botén de Oro (Ocacia Dealbata) con cuatro tratamientos pregerminativos en cuatro tipos de sustratos*. Quito: ESPOCH.
- Mexal, J., & Landis, T. (1990). Target seedling concepts: height and diameter. *Western Forest Nursery Associations*, 17-35.
- Montgomery, D. (2006). *Control Estadístico de la Calidad*. México D.F.: Limusa Wiley.

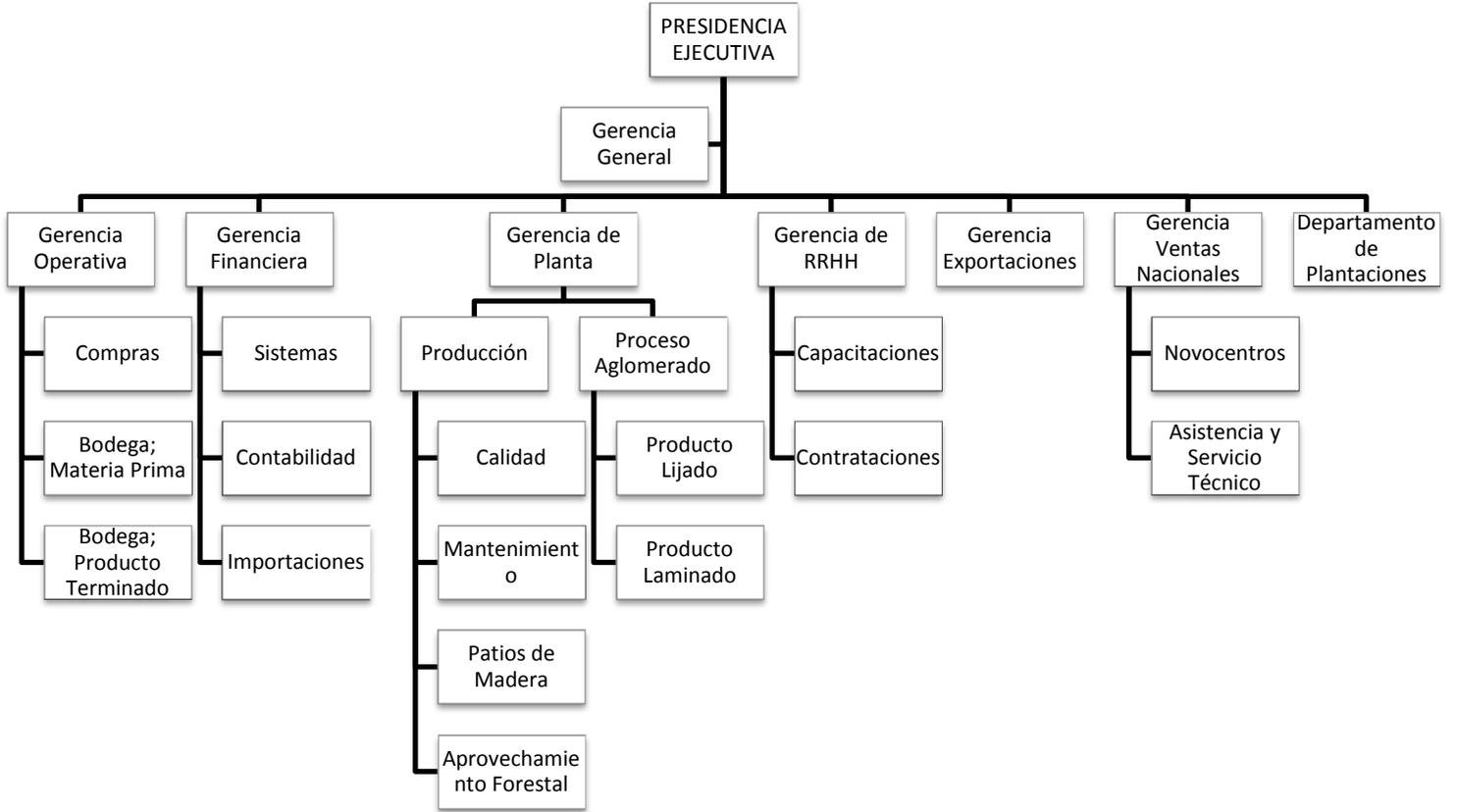
- Montgomery, D. (2007). *Diseño y Análisis de Experimentos*. México D.F.: Limusa Wiley.
- Moraa, F., & Perretb, S. (2007). Aplicación de técnicas bayesianas en el análisis genético de árboles forestales. *Bosque 28(3); Universidad Estatal de Maringá-Paraná*, 198-206.
- Morales, & Viedma. (1998). *Guía para la evaluación de plántulas en vivero. Programa Red Nacional de Semillas Forestales*. Cochabamba, Bolivia: Mimeo.
- Niebel, B., & Freivalds, A. (2004). *Ingeniería Industrial; Métodos, Estándares y Diseño del Trabajo*. México D.F.
- Novopan. (2012). *Novopan del Ecuador S. A. Fábrica de Tableros de Partículas*. Recuperado el 15 de Enero de 2013, de <http://www.novopan.com.ec>
- Olmedo, C. (2013). Entrevista con Jefe de Viveros de Itulcachi; Novopan. (G. Santiago, Entrevistador)
- Poschen, P. (2000). *Industria Forestal: Sectores basados en recursos biológicos*. Madrid.
- Pyzdek, T., & Keller, P. (2011). *The six sigma Handbook*. New York: McGrawHill.
- Racines, D. (2013). Entrevista con Jefe de Aprovisionamiento Maderero; Novopan. (S. González, Entrevistador)
- Rojas, E. (12 de Enero de 2013). Entrevista con Gerente de Operaciones de Novopan. (S. González, Entrevistador)
- Rojas, F. (2002). Metodología para la evaluación de la calidad de plántulas de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.) en vivero. *Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 75-81.
- Rojas, O., & Murillo, O. (2000). Calidad de las plantaciones de teca en la península de Nicoya. *Agronomía Costarricense 24 (2)*, 65-75.
- Ross, S. (2005). *Introducción a la Estadística*. Barcelona: Editorial Reverté.

- Roweder, C., Souza, M., & Bispo da Silva, J. (2011). Uso de diferentes sustratos y el ambiente en la germinación y desarrollo inicial de las plántulas de cedro. *Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia Vol. 5*, ISSN 19836825.
- Ruales, C. (2013). Entrevista con Encargado del Laboratorio de Biocontroladores de la USFQ. (S. González, Entrevistador)
- Ruiz, A., & Artur, F. (2006). *Control Estadístico de Procesos*. Recuperado el 16 de Enero de 2013, de Universidad Pontificia Comillas, Madrid: <http://web.cortland.edu/matresearch/controlprocesos.pdf>
- Sabina, R. (4 de Octubre de 2012). *Arbol de causas*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2012, de <http://sabinarodriguez.wordpress.com/2012/10/04/gestion-de-averias-herramientas-para-su-analisis-ii/>
- Sánchez, S., & Murillo, O. (2004). Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales. *Agronomía Costarricense*, 95-106.
- Solé, A. (2005). *Fiabilidad y seguridad: su aplicación en procesos industriales*. Barcelona: Marcombo.
- SRI. (2013). Top 100; Los Proveedores más Grandes. *EKOS Negocios; No 228. Abr-2013*, 50.
- Stevenson, W. (2011). *Operation Management*. Tenth Edition: McGrawHill.
- Taylor, G. (2009). *Lean Six Sigma Service Excellence: A Guide to Green Belt Certification and Botton Line Improvement*. New Jersey: J.Ross Publishing.
- Toral. (1997). *Concepto de Calidad de Plantas en Viveros Forestales; Estudio Técnico*. Mexico: Jalisco.
- UVA. (2011). *Grado en Ingeniería Forestal*. Recuperado el Noviembre de 2012, de <http://grado.uva.es/grado-en-ingenieria-forestal-industrias-forestales>
- VBM. (2012). *Michael Porter Value Chain Model Framework*. Recuperado el Noviembre de 2012, de http://valuebasedmanagement.net/methods_porter_value_chain.html

WWF Bolivia. (2004). *Plan Silvicultural en el Manejo Forestal*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2012, de En:
<http://awsassets.panda.org/downloads/plansilvicultural.pdf>

ANEXOS:

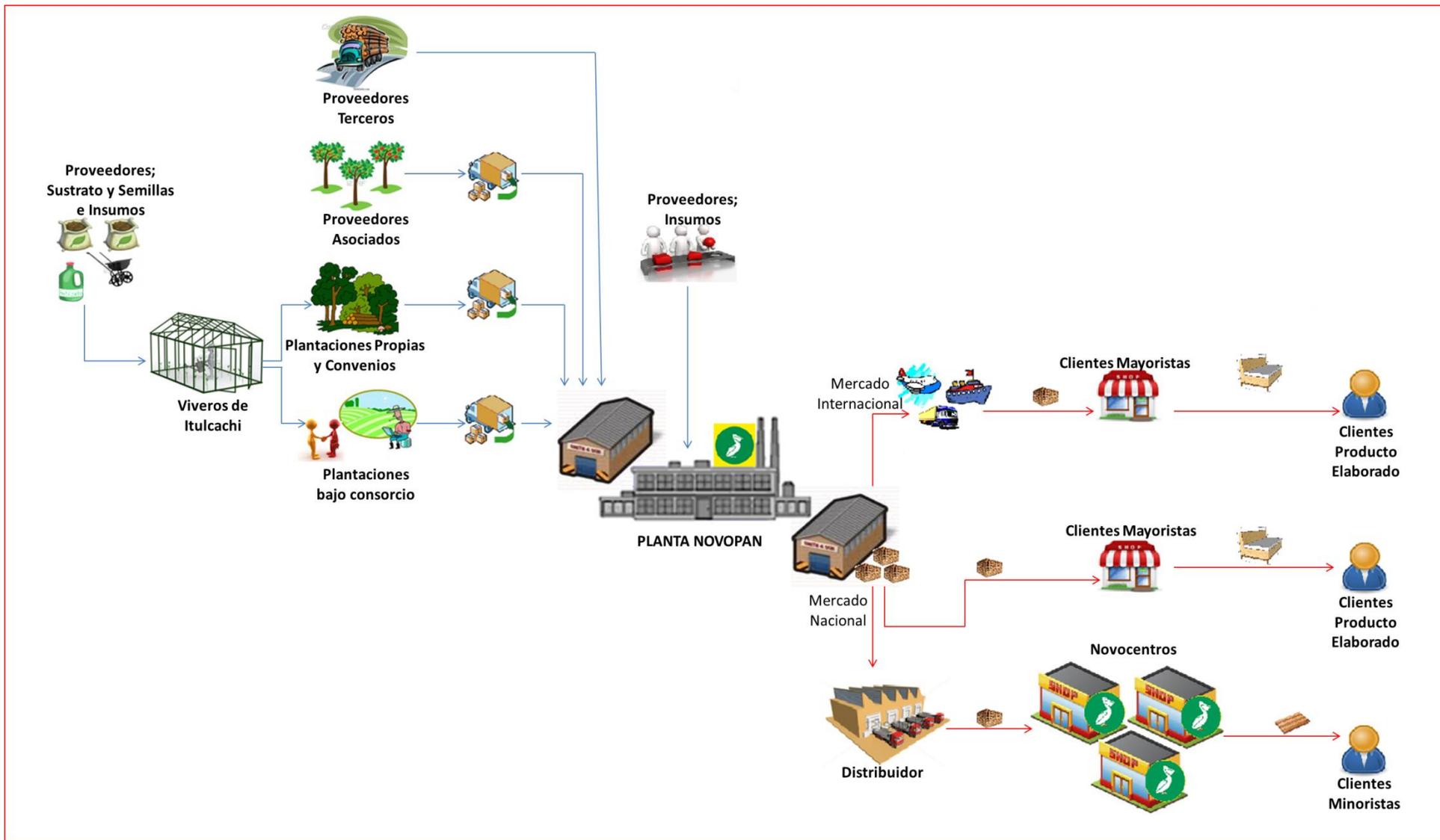
Anexo 1: Estructura Organizacional de Novopan del Ecuador S. A.



Anexo 2: Productos Ofrecidos por Novopan del Ecuador S. A.

Segmentos:	Variedades:		
	Dimensiones	Espesor	Color Laminado
1. MDP (Medium Density Particleboard)	7 Dimensiones	11 Espesores	No
	(1,22m. - 3,06m.) X 2,44m.	(4mm. - 40mm.)	
2. MDP KOR (Laminados)	1 Dimensión	7 Espesores	35 Colores
	2,15m. X 2,44m.	(6mm. - 30mm.)	
3. MDP Tropical (Resistencia Humedad)	7 Dimensiones	11 Espesores	No
	(1,22m. - 3,06m.) X 2,44m.	(4mm. - 40mm.)	
4. TROPI KOR (Laminados + Resistencia Humedad)	1 Dimensión	7 Espesores	35 Colores
	2,15m. X 2,44m.	(6mm. - 30mm.)	
5. MDP FORMAleta (Encofrados; Construcción)	4 Dimensiones	4 Espesores	No
	(1,22m. - 2,44m.) X 2,44m.	(6mm. - 18mm.)	
6. MDF (Medium Density Fibreboard)	1 Dimensión	6 Espesores	No
	2,13m. X 2,44m.	(10mm. - 31mm.)	

Anexo 3: Cadena de Suministro de Novopan del Ecuador S. A, Flujo de Productos



Anexo 4: Materias Primas y Proveedores para la Planta de Itulcachi

Componente	País de Procedencia	Proveedor
Madera (Rolliza y Jampa)	Ecuador	1. Proveedores asociados
		2. Proveedores Terceros
		3. Plantaciones Propias
		4. Plantaciones "Consortios"
Madera (Láminas, Aserrín y Viruta)	Ecuador	2. Proveedores Terceros
Resina	Ecuador	* Interquimec S.A
Catalizador	Ecuador	* Almon del Ecuador
Parafina	Ecuador	* Almon del Ecuador
Papel Melamínico	Austria	* Schattdecor
	Brasil	* Confalonieri
	España	* Impress
	Italia	* Decotec
Cloruro de Amonio	Ecuador	* Brenntag Ecuador
		* Ecuatoriana de Solventes S.A
Colorante	Colombia	
	Estados Unidos	

Anexo 5: Proyectos con Proveedores en la Base de la Pirámide (BDP)

En vista de la creciente demanda nacional e internacional de Novopan, y debido a que la capacidad de la planta lo permitía, la empresa buscó nuevas e innovadoras formas de aprovisionamiento, dando por resultado los proyectos para proveedores en la BDP. Estos proyectos se enfocan en el aprovisionamiento de madera a través de: (1) Proveedores Terceros y (2) Plantaciones bajo consorcio; y responden entre otros aspectos, al compromiso de responsabilidad social y ambiental de la empresa.

1. Proveedores de madera "Terceros"

A partir de la inauguración de la nueva planta en 2008, Novopan anunció que comprarían pequeños cargamentos de madera (jampa, rolliza, laminas, aserrín y viruta) directamente en su planta en el sector de Itulcachi. Para el 2012, se registró a más de

450 pequeños proveedores que comercializaron madera directamente en la planta (Racines, 2013).

El impacto social se refleja en la oportunidad de trabajo para todas estas personas que pueden abastecer con todo tipo de madera a la empresa. Pero también se percibe un impacto ambiental, ya que se permite que los proveedores lleven consigo madera de tipo aserrín y viruta; subproductos de la madera que antes eran manejados como desechos, y ahora tienen un valor comercial.

2. Plantaciones bajo modalidad de consorcio

La modalidad de consorcios, permite a personas que dispongan de territorio adecuado para la silvicultura, el emprender un negocio donde Novopan brinda las plantas al igual que ayuda y seguimiento técnico para el cultivo y futura cosecha de los árboles sembrados. Este proyecto se encuentra en desarrollo por parte del departamento de Plantaciones Forestales de la empresa, sin embargo aún no se realizan las primeras explotaciones forestales.

Bajo este proyecto se brinda oportunidades de trabajo para personas que cuenten con un territorio apropiado, sin embargo el principal reto consiste en el compromiso por parte de los productores con un contrato a largo plazo, ya que el cultivo y explotación de los árboles que utiliza la empresa significan períodos mayores a los doce años (Olmedo, 2013).

Anexo 6: Lista Maestra de Procesos en Planta de Novopan (Mena & Suarez, 2011)

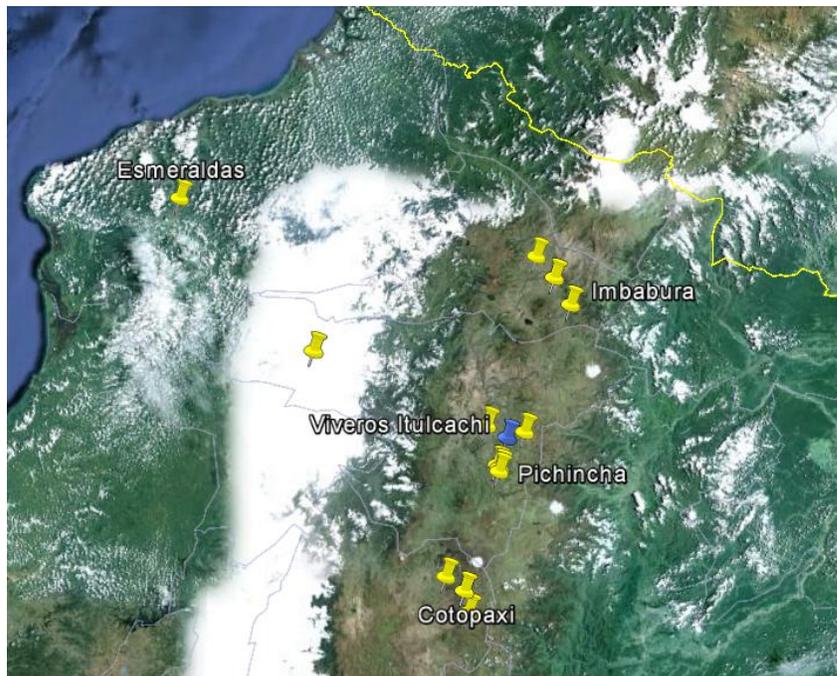
Macro Procesos	Procesos	Subprocesos	Código
Macro Procesos Gobernante	Aseguramiento de la Calidad	Planificación y Mejoramiento de la Calidad	G3AC-1
		Control de Calidad	G3AC-2
	Auditoría Interna		G2AI-0
	Planificación Estratégica		G2PE-0
	Gestión Ambiental		G2GA-0
Macro Procesos Productivos	Ventas y Distribución	Exportaciones	P3VD-1
		Ventas Locales	P3VD-2
	Producción Aglomerado	Molienda	P3PA-1
		Secado	P3PA-2
		Separación de Material por Densidad	P3PA-3
		Encolado	P3PA-4
		Formación de Colchón	P3PA-5
		Prensado	P3PA-6
		Corte y Apilado	P3PA-7
	Laminado de Aglomerado		P2LM-0
	Gestión de Marketing		P2GM-0
	Lijado de Aglomerado		P2LJ-0
Despachos	Embalaje	P3DP-1	
	Envío de Producto	P3DP-2	
Macro Procesos Habilitantes	Gestión de Bodegas	Recepción de Material	H3GB-1
		Gestión de Patios	H3GB-2
		Bodega de Repuestos y Materia Prima	H3GB-3
		Bodega de Productos Comerciales	H3GB-4
		Bodega de Producto Terminado	H3GB-5
	Gestión Financiera	Dirección Financiera	H3GF-1
		Contabilidad	H3GF-2
		Gestión de Caja	H3GF-3
	Mantenimiento	Mantenimiento Preventivo	H3MT-1
		Mantenimiento Correctivo	H3MT-2
		Mantenimiento Predictivo	H3MT-3
	Gestión de Recursos Humanos	Capacitación de Personal y Asistencia Técnica	H3RH-1
		Evaluación de Personal	H3RH-2
		Contratación de Personal	H3RH-3
		Manejo de Entorno Laboral	H3RH-4
		Organización de Eventos	H3RH-5
	Sistemas		H2ST-0
	Gestión Forestal	Plantaciones	H3GF-1
		Manejo y Explotación Forestal	H3GF-2
	Compras	Importaciones	H3CP-1
Partes y Repuestos		H3CP-2	
Material para Consumo Interno		H3CP-3	
Seguridad Industrial		H2SI-0	

Fuente: Mena & Suarez, 2011.

Anexo 7: Causas y Subcausas del Bajo porcentaje de emergencia para el Pinus Radiata.

Efecto Principal	Causas	Subcausas
Bajo porcentaje de emergencia luego de 21 días	Proporción de riego inadecuado	Riego no uniforme
		No se puede medir el riego
	Sustrato utilizado ineficiente	Sustrato con patógenos
		Malas características físicas
	Mal aprovisionamiento de semillas	Semillas no certificadas
	Imprudencia de los operarios	
	Negligencia de los operarios	
	Estructura de Viveros inadecuada	Daños en estructura del Viveros
		Mal diseño de Viveros
	Temperatura ambiente inapropiada	
	Humedad ambiente inapropiada	
	Tratamiento de semillas ineficaz	
	Mala esterilización del sustrato	Esterilización no elimina todos los micro-organismos
		Sustrato permanece humedo luego de la esterilización
Sistema de riego inadecuado	Riego no uniforme	

Anexo 8: Ubicación de las Plantaciones de Novopan a Enero-2013



Anexo 9: Combinaciones del Diseño Experimental

StdOrder	RunOrder	PtType	Replica	Sustrato	Trat.Sust.	Trat.Sem.	Tricho.
7	1	1	1	Actual (Berger Peat)	No	No	Si
8	2	1	1	Actual (Berger Peat)	No	No	No
19	3	1	1	Orgánico	Si	No	Si
17	4	1	1	Orgánico	Si	Si	Si
23	5	1	1	Orgánico	No	No	Si
21	6	1	1	Orgánico	No	Si	Si
18	7	1	1	Orgánico	Si	Si	No
22	8	1	1	Orgánico	No	Si	No
3	9	1	1	Actual (Berger Peat)	Si	No	Si
16	10	1	1	Elab. Propia	No	No	No
12	11	1	1	Elab. Propia	Si	No	No
6	12	1	1	Actual (Berger Peat)	No	Si	No
5	13	1	1	Actual (Berger Peat)	No	Si	Si
9	14	1	1	Elab. Propia	Si	Si	Si
4	15	1	1	Actual (Berger Peat)	Si	No	No
24	16	1	1	Orgánico	No	No	No
20	17	1	1	Orgánico	Si	No	No
2	18	1	1	Actual (Berger Peat)	Si	Si	No
11	19	1	1	Elab. Propia	Si	No	Si
15	20	1	1	Elab. Propia	No	No	Si
13	21	1	1	Elab. Propia	No	Si	Si
14	22	1	1	Elab. Propia	No	Si	No
10	23	1	1	Elab. Propia	Si	Si	No
1	24	1	1	Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si
85	25	1	2	Elab. Propia	No	Si	Si
79	26	1	2	Actual (Berger Peat)	No	No	Si
95	27	1	2	Orgánico	No	No	Si
90	28	1	2	Orgánico	Si	Si	No
81	29	1	2	Elab. Propia	Si	Si	Si
92	30	1	2	Orgánico	Si	No	No
86	31	1	2	Elab. Propia	No	Si	No
94	32	1	2	Orgánico	No	Si	No
74	33	1	2	Actual (Berger Peat)	Si	Si	No
82	34	1	2	Elab. Propia	Si	Si	No
78	35	1	2	Actual (Berger Peat)	No	Si	No
75	36	1	2	Actual (Berger Peat)	Si	No	Si
93	37	1	2	Orgánico	No	Si	Si
88	38	1	2	Elab. Propia	No	No	No
77	39	1	2	Actual (Berger Peat)	No	Si	Si
87	40	1	2	Elab. Propia	No	No	Si
76	41	1	2	Actual (Berger Peat)	Si	No	No
80	42	1	2	Actual (Berger Peat)	No	No	No
96	43	1	2	Orgánico	No	No	No
91	44	1	2	Orgánico	Si	No	Si
83	45	1	2	Elab. Propia	Si	No	Si

StdOrder	RunOrder	PtType	Replica	Sustrato	Trat.Sust.	Trat.Sem.	Tricho.
89	46	1	2	Orgánico	Si	Si	Si
84	47	1	2	Elab. Propia	Si	No	No
73	48	1	2	Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si
191	49	1	3	Orgánico	No	No	Si
188	50	1	3	Orgánico	Si	No	No
187	51	1	3	Orgánico	Si	No	Si
175	52	1	3	Actual (Berger Peat)	No	No	Si
181	53	1	3	Elab. Propia	No	Si	Si
178	54	1	3	Elab. Propia	Si	Si	No
176	55	1	3	Actual (Berger Peat)	No	No	No
170	56	1	3	Actual (Berger Peat)	Si	Si	No
183	57	1	3	Elab. Propia	No	No	Si
182	58	1	3	Elab. Propia	No	Si	No
190	59	1	3	Orgánico	No	Si	No
174	60	1	3	Actual (Berger Peat)	No	Si	No
173	61	1	3	Actual (Berger Peat)	No	Si	Si
192	62	1	3	Orgánico	No	No	No
177	63	1	3	Elab. Propia	Si	Si	Si
186	64	1	3	Orgánico	Si	Si	No
172	65	1	3	Actual (Berger Peat)	Si	No	No
189	66	1	3	Orgánico	No	Si	Si
180	67	1	3	Elab. Propia	Si	No	No
169	68	1	3	Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si
179	69	1	3	Elab. Propia	Si	No	Si
171	70	1	3	Actual (Berger Peat)	Si	No	Si
185	71	1	3	Orgánico	Si	Si	Si
184	72	1	3	Elab. Propia	No	No	No
144	73	1	4	Orgánico	No	No	No
136	74	1	4	Elab. Propia	No	No	No
125	75	1	4	Actual (Berger Peat)	No	Si	Si
129	76	1	4	Elab. Propia	Si	Si	Si
135	77	1	4	Elab. Propia	No	No	Si
131	78	1	4	Elab. Propia	Si	No	Si
130	79	1	4	Elab. Propia	Si	Si	No
139	80	1	4	Orgánico	Si	No	Si
133	81	1	4	Elab. Propia	No	Si	Si
121	82	1	4	Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si
137	83	1	4	Orgánico	Si	Si	Si
138	84	1	4	Orgánico	Si	Si	No
123	85	1	4	Actual (Berger Peat)	Si	No	Si
127	86	1	4	Actual (Berger Peat)	No	No	Si
128	87	1	4	Actual (Berger Peat)	No	No	No
124	88	1	4	Actual (Berger Peat)	Si	No	No
142	89	1	4	Orgánico	No	Si	No
140	90	1	4	Orgánico	Si	No	No
134	91	1	4	Elab. Propia	No	Si	No
132	92	1	4	Elab. Propia	Si	No	No
126	93	1	4	Actual (Berger Peat)	No	Si	No
122	94	1	4	Actual (Berger Peat)	Si	Si	No

StdOrder	RunOrder	PtType	Replica	Sustrato	Trat.Sust.	Trat.Sem.	Tricho.
143	95	1	4	Orgánico	No	No	Si
141	96	1	4	Orgánico	No	Si	Si
151	97	1	5	Actual (Berger Peat)	No	No	Si
145	98	1	5	Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si
157	99	1	5	Elab. Propia	No	Si	Si
156	100	1	5	Elab. Propia	Si	No	No
161	101	1	5	Orgánico	Si	Si	Si
168	102	1	5	Orgánico	No	No	No
147	103	1	5	Actual (Berger Peat)	Si	No	Si
167	104	1	5	Orgánico	No	No	Si
160	105	1	5	Elab. Propia	No	No	No
155	106	1	5	Elab. Propia	Si	No	Si
146	107	1	5	Actual (Berger Peat)	Si	Si	No
165	108	1	5	Orgánico	No	Si	Si
162	109	1	5	Orgánico	Si	Si	No
148	110	1	5	Actual (Berger Peat)	Si	No	No
164	111	1	5	Orgánico	Si	No	No
163	112	1	5	Orgánico	Si	No	Si
154	113	1	5	Elab. Propia	Si	Si	No
159	114	1	5	Elab. Propia	No	No	Si
150	115	1	5	Actual (Berger Peat)	No	Si	No
152	116	1	5	Actual (Berger Peat)	No	No	No
166	117	1	5	Orgánico	No	Si	No
149	118	1	5	Actual (Berger Peat)	No	Si	Si
158	119	1	5	Elab. Propia	No	Si	No
153	120	1	5	Elab. Propia	Si	Si	Si
42	121	1	6	Orgánico	Si	Si	No
27	122	1	6	Actual (Berger Peat)	Si	No	Si
47	123	1	6	Orgánico	No	No	Si
38	124	1	6	Elab. Propia	No	Si	No
46	125	1	6	Orgánico	No	Si	No
30	126	1	6	Actual (Berger Peat)	No	Si	No
45	127	1	6	Orgánico	No	Si	Si
43	128	1	6	Orgánico	Si	No	Si
28	129	1	6	Actual (Berger Peat)	Si	No	No
35	130	1	6	Elab. Propia	Si	No	Si
25	131	1	6	Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si
48	132	1	6	Orgánico	No	No	No
41	133	1	6	Orgánico	Si	Si	Si
31	134	1	6	Actual (Berger Peat)	No	No	Si
37	135	1	6	Elab. Propia	No	Si	Si
36	136	1	6	Elab. Propia	Si	No	No
33	137	1	6	Elab. Propia	Si	Si	Si
32	138	1	6	Actual (Berger Peat)	No	No	No
39	139	1	6	Elab. Propia	No	No	Si
44	140	1	6	Orgánico	Si	No	No
29	141	1	6	Actual (Berger Peat)	No	Si	Si
34	142	1	6	Elab. Propia	Si	Si	No
26	143	1	6	Actual (Berger Peat)	Si	Si	No

StdOrder	RunOrder	PtType	Replica	Sustrato	Trat.Sust.	Trat.Sem.	Tricho.
40	144	1	6	Elab. Propia	No	No	No
111	145	1	7	Elab. Propia	No	No	Si
109	146	1	7	Elab. Propia	No	Si	Si
101	147	1	7	Actual (Berger Peat)	No	Si	Si
116	148	1	7	Orgánico	Si	No	No
105	149	1	7	Elab. Propia	Si	Si	Si
100	150	1	7	Actual (Berger Peat)	Si	No	No
99	151	1	7	Actual (Berger Peat)	Si	No	Si
118	152	1	7	Orgánico	No	Si	No
108	153	1	7	Elab. Propia	Si	No	No
107	154	1	7	Elab. Propia	Si	No	Si
104	155	1	7	Actual (Berger Peat)	No	No	No
114	156	1	7	Orgánico	Si	Si	No
102	157	1	7	Actual (Berger Peat)	No	Si	No
103	158	1	7	Actual (Berger Peat)	No	No	Si
119	159	1	7	Orgánico	No	No	Si
113	160	1	7	Orgánico	Si	Si	Si
97	161	1	7	Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si
106	162	1	7	Elab. Propia	Si	Si	No
110	163	1	7	Elab. Propia	No	Si	No
120	164	1	7	Orgánico	No	No	No
98	165	1	7	Actual (Berger Peat)	Si	Si	No
117	166	1	7	Orgánico	No	Si	Si
112	167	1	7	Elab. Propia	No	No	No
115	168	1	7	Orgánico	Si	No	Si
68	169	1	8	Orgánico	Si	No	No
66	170	1	8	Orgánico	Si	Si	No
59	171	1	8	Elab. Propia	Si	No	Si
61	172	1	8	Elab. Propia	No	Si	Si
63	173	1	8	Elab. Propia	No	No	Si
65	174	1	8	Orgánico	Si	Si	Si
64	175	1	8	Elab. Propia	No	No	No
72	176	1	8	Orgánico	No	No	No
71	177	1	8	Orgánico	No	No	Si
54	178	1	8	Actual (Berger Peat)	No	Si	No
62	179	1	8	Elab. Propia	No	Si	No
70	180	1	8	Orgánico	No	Si	No
58	181	1	8	Elab. Propia	Si	Si	No
60	182	1	8	Elab. Propia	Si	No	No
69	183	1	8	Orgánico	No	Si	Si
53	184	1	8	Actual (Berger Peat)	No	Si	Si
56	185	1	8	Actual (Berger Peat)	No	No	No
49	186	1	8	Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si
51	187	1	8	Actual (Berger Peat)	Si	No	Si
67	188	1	8	Orgánico	Si	No	Si
55	189	1	8	Actual (Berger Peat)	No	No	Si
52	190	1	8	Actual (Berger Peat)	Si	No	No
57	191	1	8	Elab. Propia	Si	Si	Si
50	192	1	8	Actual (Berger Peat)	Si	Si	No

Anexo 10: Códigos para cada Media Bandeja de Tubetes en el Diseño Experimental.

Bancal 1			
Mitad 1		Mitad 2	
Código	Código	Código	Código
P1 - 7	P4 - 85	P8 - 191	P6 - 144
P1 - 8	P4 - 79	P8 - 188	P6 - 136
P1 - 19	P4 - 95	P8 - 187	P6 - 125
P1 - 17	P4 - 90	P8 - 175	P6 - 129
P1 - 23	P4 - 81	P8 - 181	P6 - 135
P1 - 21	P4 - 92	P8 - 178	P6 - 131
P1 - 18	P4 - 86	P8 - 176	P6 - 130
P1 - 22	P4 - 94	P8 - 170	P6 - 139
P1 - 3	P4 - 74	P8 - 183	P6 - 133
P1 - 16	P4 - 82	P8 - 182	P6 - 121
P1 - 12	P4 - 78	P8 - 190	P6 - 137
P1 - 6	P4 - 75	P8 - 174	P6 - 138
P1 - 5	P4 - 93	P8 - 173	P6 - 123
P1 - 9	P4 - 88	P8 - 192	P6 - 127
P1 - 4	P4 - 77	P8 - 177	P6 - 128
P1 - 24	P4 - 87	P8 - 186	P6 - 124
P1 - 20	P4 - 76	P8 - 172	P6 - 142
P1 - 2	P4 - 80	P8 - 189	P6 - 140
P1 - 11	P4 - 96	P8 - 180	P6 - 134
P1 - 15	P4 - 91	P8 - 169	P6 - 132
P1 - 13	P4 - 83	P8 - 179	P6 - 126
P1 - 14	P4 - 89	P8 - 171	P6 - 122
P1 - 10	P4 - 84	P8 - 185	P6 - 143
P1 - 1	P4 - 73	P8 - 184	P6 - 141

Bancal 2			
Mitad 1		Mitad 2	
Código	Código	Código	Código
P7 - 151	P2 - 42	P5 - 111	P3 - 68
P7 - 145	P2 - 27	P5 - 109	P3 - 66
P7 - 157	P2 - 47	P5 - 101	P3 - 59
P7 - 156	P2 - 38	P5 - 116	P3 - 61
P7 - 161	P2 - 46	P5 - 105	P3 - 63
P7 - 168	P2 - 30	P5 - 100	P3 - 65
P7 - 147	P2 - 45	P5 - 99	P3 - 64
P7 - 167	P2 - 43	P5 - 118	P3 - 72
P7 - 160	P2 - 28	P5 - 108	P3 - 71
P7 - 155	P2 - 35	P5 - 107	P3 - 54
P7 - 146	P2 - 25	P5 - 104	P3 - 62
P7 - 165	P2 - 48	P5 - 114	P3 - 70
P7 - 162	P2 - 41	P5 - 102	P3 - 58
P7 - 148	P2 - 31	P5 - 103	P3 - 60
P7 - 164	P2 - 37	P5 - 119	P3 - 69
P7 - 163	P2 - 36	P5 - 113	P3 - 53
P7 - 154	P2 - 33	P5 - 97	P3 - 56
P7 - 159	P2 - 32	P5 - 106	P3 - 49
P7 - 150	P2 - 39	P5 - 110	P3 - 51
P7 - 152	P2 - 44	P5 - 120	P3 - 67
P7 - 166	P2 - 29	P5 - 98	P3 - 55
P7 - 149	P2 - 34	P5 - 117	P3 - 52
P7 - 158	P2 - 26	P5 - 112	P3 - 57
P7 - 153	P2 - 40	P5 - 115	P3 - 50

Anexo 11: Recolección de Datos; Número de Plantas no Emergidas luego de 21 días de la siembra de *Pinus Radiata*.

Bancal 1			
Mitad 1		Mitad 2	
4	11	15	16
8	9	11	12
12	16	8	6
8	15	6	9
12	8	10	11
13	9	13	9
17	13	10	16
16	14	8	11
12	7	9	9
15	11	9	10
9	6	12	5
4	8	8	14
9	12	6	5
9	18	19	9
7	7	9	7
16	7	13	8
5	10	9	15
8	7	14	8
6	14	9	11
8	11	7	12
12	9	8	7
13	9	6	7
9	7	12	14
4	8	13	16

Bancal 1			
Mitad 1		Mitad 2	
7	12	13	10
11	8	12	11
12	19	9	12
10	13	13	11
12	15	6	11
18	6	6	8
9	8	12	10
11	7	13	13
10	7	7	10
11	11	8	8
6	16	10	12
9	18	13	15
9	10	8	9
8	8	7	7
7	14	12	10
9	10	13	9
7	10	14	9
19	9	6	8
8	16	14	11
8	14	15	12
17	11	10	11
4	8	8	5
15	9	14	5
12	13	10	5

Anexo 12: Porcentaje de Emergencia luego de 21 días de la siembra de Pinus Radiata.

Bancal 1			
Mitad 1		Mitad 2	
0,92	0,77	0,69	0,67
0,83	0,81	0,77	0,75
0,75	0,67	0,83	0,88
0,83	0,69	0,88	0,81
0,75	0,83	0,79	0,77
0,73	0,81	0,73	0,81
0,65	0,73	0,79	0,67
0,67	0,71	0,83	0,77
0,75	0,85	0,81	0,81
0,69	0,77	0,81	0,79
0,81	0,88	0,75	0,90
0,92	0,83	0,83	0,71
0,81	0,75	0,88	0,90
0,81	0,63	0,60	0,81
0,85	0,85	0,81	0,85
0,67	0,85	0,73	0,83
0,90	0,79	0,81	0,69
0,83	0,85	0,71	0,83
0,88	0,71	0,81	0,77
0,83	0,77	0,85	0,75
0,75	0,81	0,83	0,85
0,73	0,81	0,88	0,85
0,81	0,85	0,75	0,71
0,92	0,83	0,73	0,67

Bancal 1			
Mitad 1		Mitad 2	
0,85	0,75	0,73	0,79
0,77	0,83	0,75	0,77
0,75	0,60	0,81	0,75
0,79	0,73	0,73	0,77
0,75	0,69	0,88	0,77
0,63	0,88	0,88	0,83
0,81	0,83	0,75	0,79
0,77	0,85	0,73	0,73
0,79	0,85	0,85	0,79
0,77	0,77	0,83	0,83
0,88	0,67	0,79	0,75
0,81	0,63	0,73	0,69
0,81	0,79	0,83	0,81
0,83	0,83	0,85	0,85
0,85	0,71	0,75	0,79
0,81	0,79	0,73	0,81
0,85	0,79	0,71	0,81
0,60	0,81	0,88	0,83
0,83	0,67	0,71	0,77
0,83	0,71	0,69	0,75
0,65	0,77	0,79	0,77
0,92	0,83	0,83	0,90
0,69	0,81	0,71	0,90
0,75	0,73	0,79	0,90

Anexo 13: Resultados de Minitab 16 del Análisis del diseño Experimental, Todos los Factores (Porcentaje Emergencia luego de 21 días)

General Linear Model: % Emergencia versus Replica. Sustrato. ...

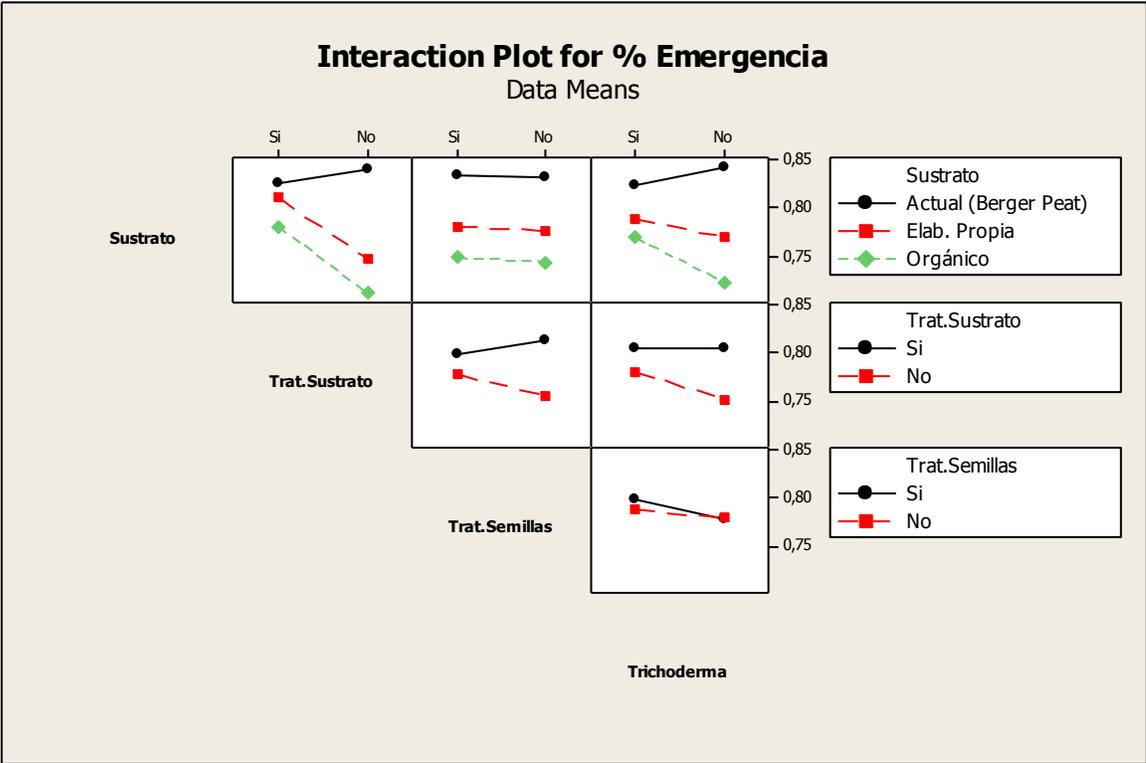
Factor	Type	Levels	Values
Replica	fixed	8	1. 2. 3. 4. 5. 6. 7. 8
Sustrato	fixed	3	Actual (Berger Peat). Elab. Propia. Orgánico
Trat.Sust.	fixed	2	No. Si
Trat.Sem.	fixed	2	No. Si
Tricho.	fixed	2	No. Si

Analysis of Variance for % Emergencia, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Replica	7	0,018444	0,018444	0,002635	1,02	0,420
Sustrato	2	0,250439	0,250439	0,125219	48,39	0,000
Trat.Sust.	1	0,074058	0,074058	0,074058	28,62	0,000
Trat.Sem.	1	0,000816	0,000816	0,000816	0,32	0,575
Tricho.	1	0,011395	0,011395	0,011395	4,40	0,037
Sustrato*Trat.Sust.	2	0,072623	0,072623	0,036311	14,03	0,000
Sustrato*Trat.Sem.	2	0,000005	0,000005	0,000002	0,00	0,999
Sustrato*Tricho.	2	0,033425	0,033425	0,016712	6,46	0,002
Trat.Sust.*Trat.Sem.	1	0,016333	0,016333	0,016333	6,31	0,013
Trat.Sust.*Tricho.	1	0,009551	0,009551	0,009551	3,69	0,056
Trat.Sem.*Tricho.	1	0,001901	0,001901	0,001901	0,73	0,393
Sustrato*Trat.Sust.*Trat.Sem.	2	0,007573	0,007573	0,003786	1,46	0,235
Sustrato*Trat.Sust.*Tricho.	2	0,001117	0,001117	0,000558	0,22	0,806
Sustrato*Trat.Sem.*Tricho.	2	0,011072	0,011072	0,005536	2,14	0,121
Trat.Sust.*Trat.Sem.*Tricho.	1	0,004578	0,004578	0,004578	1,77	0,185
Sustrato*Trat.Sust.*Trat.Sem.* Tricho.	2	0,000990	0,000990	0,000495	0,19	0,826
Error	161	0,416615	0,416615	0,002588		
Total	191	0,930933				

S = 0,0508691 R-Sq = 55,25% R-Sq(adj) = 46,91%

Anexo 14: Efectos por Interacción de factores para el Diseño Experimental.



Anexo 15: Medias Muestrales de las Combinaciones Analizadas en el Diseño Experimental.

Least Squares Means for % Emergencia					
Sustrato*	Trat.Sust.	*Trat.Sem.	*Tricho.	Mean	SE Mean
Actual (Berger Peat)	No	No	No	0,8229	0,017985
Actual (Berger Peat)	No	No	Si	0,8411	0,017985
Actual (Berger Peat)	No	Si	No	0,8568	0,017985
Actual (Berger Peat)	No	Si	Si	0,8411	0,017985
Actual (Berger Peat)	Si	No	No	0,8437	0,017985
Actual (Berger Peat)	Si	No	Si	0,8151	0,017985
Actual (Berger Peat)	Si	Si	No	0,8437	0,017985
Actual (Berger Peat)	Si	Si	Si	0,7969	0,017985
Elab. Propia	No	No	No	0,7266	0,017985
Elab. Propia	No	No	Si	0,7552	0,017985
Elab. Propia	No	Si	No	0,7396	0,017985
Elab. Propia	No	Si	Si	0,7630	0,017985
Elab. Propia	Si	No	No	0,8151	0,017985
Elab. Propia	Si	No	Si	0,8073	0,017985
Elab. Propia	Si	Si	No	0,7943	0,017985
Elab. Propia	Si	Si	Si	0,8229	0,017985
Orgánico	No	No	No	0,6641	0,017985
Orgánico	No	No	Si	0,7161	0,017985
Orgánico	No	Si	No	0,6953	0,017985
Orgánico	No	Si	Si	0,7656	0,017985
Orgánico	Si	No	No	0,7995	0,017985
Orgánico	Si	No	Si	0,7917	0,017985
Orgánico	Si	Si	No	0,7292	0,017985
Orgánico	Si	Si	Si	0,7995	0,017985

Anexo 16: Intervalos de Confianza para cada Combinación del Diseño Experimental.

Sustrato	Trat. Sus	Trat. Sem	Trichoderma	Media	Intervalo de Confianza 95%	
Actual	Si	Si	Si	0,7969	0,8320	0,7619
Actual	Si	Si	No	0,8438	0,8789	0,8088
Actual	Si	No	Si	0,8151	0,8502	0,7801
Actual	Si	No	No	0,8438	0,8789	0,8088
Actual	No	Si	Si	0,8411	0,8762	0,8061
Actual	No	Si	No	0,8568	0,8919	0,8218
Actual	No	No	Si	0,8411	0,8762	0,8061
Actual	No	No	No	0,8229	0,8580	0,7879
Elab. Propia	Si	Si	Si	0,8229	0,8580	0,7879
Elab. Propia	Si	Si	No	0,7943	0,8294	0,7593
Elab. Propia	Si	No	Si	0,8073	0,8424	0,7723
Elab. Propia	Si	No	No	0,8151	0,8502	0,7801
Elab. Propia	No	Si	Si	0,7630	0,7981	0,7280
Elab. Propia	No	Si	No	0,7396	0,7747	0,7046
Elab. Propia	No	No	Si	0,7552	0,7903	0,7202
Elab. Propia	No	No	No	0,7266	0,7617	0,6916
Orgánico	Si	Si	Si	0,7995	0,8346	0,7645
Orgánico	Si	Si	No	0,7292	0,7643	0,6942
Orgánico	Si	No	Si	0,7917	0,8268	0,7567
Orgánico	Si	No	No	0,7995	0,8346	0,7645
Orgánico	No	Si	Si	0,7656	0,8007	0,7306
Orgánico	No	Si	No	0,6953	0,7304	0,6603
Orgánico	No	No	Si	0,7161	0,7512	0,6811
Orgánico	No	No	No	0,6641	0,6992	0,6291

Anexo 18: Comparación de los Valores Reales y Ajustados para el Porcentaje de Emergencia del Pinus Radiata luego de 21 Días.

N°	Sustrato	Trat.Sust	Trat.Sem	Tricho.	Valor Real	Variables de Regresión					Valor Ajustado
						X1	X2	X3	X4	X5	
1	Actual	No	No	No	0,823	1	0	-1	-1	-1	0,842
2	Actual	No	No	Si	0,841	1	0	-1	-1	1	0,824
3	Actual	No	Si	No	0,857	1	0	-1	1	-1	0,865
4	Actual	No	Si	Si	0,841	1	0	-1	1	1	0,846
5	Actual	Si	No	No	0,844	1	0	1	-1	-1	0,847
6	Actual	Si	No	Si	0,815	1	0	1	-1	1	0,828
7	Actual	Si	Si	No	0,844	1	0	1	1	-1	0,833
8	Actual	Si	Si	Si	0,797	1	0	1	1	1	0,814
9	Elab. Propia	No	No	No	0,727	0	1	-1	-1	-1	0,730
10	Elab. Propia	No	No	Si	0,755	0	1	-1	-1	1	0,749
11	Elab. Propia	No	Si	No	0,740	0	1	-1	1	-1	0,753
12	Elab. Propia	No	Si	Si	0,763	0	1	-1	1	1	0,771
13	Elab. Propia	Si	No	No	0,815	0	1	1	-1	-1	0,813
14	Elab. Propia	Si	No	Si	0,807	0	1	1	-1	1	0,831
15	Elab. Propia	Si	Si	No	0,794	0	1	1	1	-1	0,798
16	Elab. Propia	Si	Si	Si	0,823	0	1	1	1	1	0,817
17	Orgánico	No	No	No	0,664	-1	-1	-1	-1	-1	0,680
18	Orgánico	No	No	Si	0,716	-1	-1	-1	-1	1	0,727
19	Orgánico	No	Si	No	0,695	-1	-1	-1	1	-1	0,703
20	Orgánico	No	Si	Si	0,766	-1	-1	-1	1	1	0,749
21	Orgánico	Si	No	No	0,799	-1	-1	1	-1	-1	0,769
22	Orgánico	Si	No	Si	0,792	-1	-1	1	-1	1	0,815
23	Orgánico	Si	Si	No	0,729	-1	-1	1	1	-1	0,754
24	Orgánico	Si	Si	Si	0,799	-1	-1	1	1	1	0,801

Anexo 19: Cálculo del Valor Real que la Empresa Invierte por Trabajador.

	Personal		
	Tipo A	Tipo B	
SALARIO	\$ 318,00	\$ 500,00	
Decimo Tercero	\$ 318,00	\$ 500,00	Salario completo pagado una vez al año.
Decimo Cuarto	\$ 318,00	\$ 318,00	Salario básico pagado una vez al año.
Vacaciones Pagadas	\$ 159,00	\$ 250,00	15 días de vacaciones pagadas.
Fondo de Reserva	\$ 26,49	\$ 41,65	8,33% de la remuneración aportada.
Seguro Social	\$ 35,46	\$ 55,75	11,15% del salario completo.
Total anual	\$ 5.354,36	\$ 8.236,80	
Total mensual	\$ 446,20	\$ 686,40	

Para estos cálculos se considera que todos los empleados ya llevan trabajando más de un año en la empresa y cuentan con un contrato de plazo fijo. Los cálculos se relacionan directamente con las obligaciones del empleador en la Ley del Código Laboral del Ecuador (ELO, 2013).

Anexo 20: Estimación Ingresos y Egresos para el Método 1

Gastos Operativos				
Descripción	Cantidad	Precio	Costo Total	Repetitividad
Semillas Certificadas	63 kg.	\$ 198,00	\$ 12.474,00	Anual
Sustrato (Berger Peat Moss)	500 Sacos	\$ 22,00	\$ 11.000,00	Mes de Producción (9)
Tratamiento Semillas	15 hr./t.	\$ 2,53	\$ 37,95	Mes de Producción (9)
Fertilizantes	Diversos	\$ 200,00	\$ 200,00	Mensual
Nutrientes	Diversos	\$ 150,00	\$ 150,00	Mensual
Personal A	1	\$ 686,40	\$ 686,40	Mensual
Personal B	6	\$ 446,20	\$ 2.677,20	Mensual
Otros gastos	Diversos	\$ 250,00	\$ 250,00	Mensual

Ingresos				
Descripción	Cantidad	Precio	Ingreso Total	Repetitividad
Plantas	202811	\$ 0,16	\$ 32.449,75	Mes de Despacho (9)
Emergencia 89,19%				
Mortalidad 5,00 %				

Anexo 21: Estimación Ingresos y Egresos para el Método 6

Gastos Operativos				
Descripcion	Cantidad	Precio	Costo Total	Repetitividad
Semillas Certificadas	63 kg.	\$ 198,00	\$ 12.474,00	Anual
Sustrato (Berger Peat Moss)	500 Sacos	\$ 22,00	\$ 11.000,00	Mes de Producción (9)
Fertilizantes	Diversos	\$ 200,00	\$ 200,00	Mensual
Nutrientes	Diversos	\$ 150,00	\$ 150,00	Mensual
Personal A	1	\$ 686,40	\$ 686,40	Mensual
Personal B	6	\$ 446,20	\$ 2.677,20	Mensual
Otros gastos	Diversos	\$ 250,00	\$ 250,00	Mensual

Ingresos				
Descripción	Cantidad	Precio	Ingreso Total	Repetitividad
Plantas	195102	\$ 0,16	\$ 31.216,37	Mes de Despacho (9)
Emergencia 85,80%				
Mortalidas 5,00 %				

Anexo 22: Estimación Ingresos y Egresos para el Método 7

Inversión Inicial	
Descripcion	Costo Total
Construcción Invernadero	\$ 1.500,00
Equipos	\$ 350,00
Materiales	\$ 200,00
Otros	\$ 50,00

Gastos Operativos				
Descripcion	Cantidad	Precio	Costo Total	Repetitividad
Semillas Certificadas	63 kg.	\$ 198,00	\$ 12.474,00	Anual
Sustrato (Elab. Propia)	500 Sacos	\$ 0,12	\$ 61,20	Mes de Producción (9)
Tratamiento Sustrato Mensual	1	\$ 112,95	\$ 112,95	Mes de Producción (9)
Tratamiento Semillas	15 hr./t.	\$ 2,53	\$ 37,95	Mes de Producción (9)
Trichoderma Mensual	1	\$ 229,63	\$ 229,63	Mes de Producción (9)
Fertilizantes	Diversos	\$ 200,00	\$ 200,00	Mensual
Nutrientes	Diversos	\$ 150,00	\$ 150,00	Mensual
Personal A	1	\$ 686,40	\$ 686,40	Mensual
Personal B	6	\$ 446,20	\$ 2.677,20	Mensual
Otros gastos	Diversos	\$ 250,00	\$ 250,00	Mensual

Ingresos				
Descripción	Cantidad	Precio	Ingreso Total	Repetitividad
Plantas	179162	\$ 0,16	\$ 28.665,95	Mes de Despacho (9)
Emergencia 89,19%				
Mortalidas 5,00 %				

Anexo 23: Flujo de Dinero para el Método 1

Mes	Ingresos	Egresos	Flujo Neto	Flujo Neto Acumulado
0		-\$ 27.475,55	-\$ 27.475,55	-\$ 27.475,55
1		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	-\$ 42.477,10
2		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	-\$ 57.478,65
3		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	-\$ 72.480,20
4		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	-\$ 87.481,75
5		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	-\$ 102.483,30
6		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	-\$ 117.484,85
7		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	-\$ 132.486,40
8	\$ 32.449,75	-\$ 15.001,55	\$ 17.448,20	-\$ 115.038,20
9	\$ 32.449,75	-\$ 3.963,60	\$ 28.486,15	-\$ 86.552,05
10	\$ 32.449,75	-\$ 3.963,60	\$ 28.486,15	-\$ 58.065,91
11	\$ 32.449,75	-\$ 3.963,60	\$ 28.486,15	-\$ 29.579,76
12	\$ 32.449,75	-\$ 27.475,55	\$ 4.974,20	-\$ 24.605,56
13	\$ 32.449,75	-\$ 15.001,55	\$ 17.448,20	-\$ 7.157,36
14	\$ 32.449,75	-\$ 15.001,55	\$ 17.448,20	\$ 10.290,84
15	\$ 32.449,75	-\$ 15.001,55	\$ 17.448,20	\$ 27.739,03
16	\$ 32.449,75	-\$ 15.001,55	\$ 17.448,20	\$ 45.187,23
17		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	\$ 30.185,68
18		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	\$ 15.184,13
19		-\$ 15.001,55	-\$ 15.001,55	\$ 182,58
20	\$ 32.449,75	-\$ 15.001,55	\$ 17.448,20	\$ 17.630,78
21	\$ 32.449,75	-\$ 3.963,60	\$ 28.486,15	\$ 46.116,93
22	\$ 32.449,75	-\$ 3.963,60	\$ 28.486,15	\$ 74.603,08
23	\$ 32.449,75	-\$ 3.963,60	\$ 28.486,15	\$ 103.089,22
24	\$ 32.449,75	-\$ 3.963,60	\$ 28.486,15	\$ 131.575,37

Anexo 24: Flujo de Dinero para el Método 6

Mes	Ingresos	Egresos	Flujo Neto	Flujo Neto Acumulado
0		-\$ 27.437,60	-\$ 27.437,60	-\$ 27.437,60
1		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	-\$ 42.401,20
2		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	-\$ 57.364,80
3		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	-\$ 72.328,40
4		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	-\$ 87.292,00
5		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	-\$ 102.255,60
6		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	-\$ 117.219,20
7		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	-\$ 132.182,80
8	\$ 31.216,37	-\$ 14.963,60	\$ 16.252,77	-\$ 115.930,03
9	\$ 31.216,37	-\$ 3.963,60	\$ 27.252,77	-\$ 88.677,25
10	\$ 31.216,37	-\$ 3.963,60	\$ 27.252,77	-\$ 61.424,48
11	\$ 31.216,37	-\$ 3.963,60	\$ 27.252,77	-\$ 34.171,70
12	\$ 31.216,37	-\$ 27.437,60	\$ 3.778,77	-\$ 30.392,93
13	\$ 31.216,37	-\$ 14.963,60	\$ 16.252,77	-\$ 14.140,16
14	\$ 31.216,37	-\$ 14.963,60	\$ 16.252,77	\$ 2.112,62
15	\$ 31.216,37	-\$ 14.963,60	\$ 16.252,77	\$ 18.365,39
16	\$ 31.216,37	-\$ 14.963,60	\$ 16.252,77	\$ 34.618,16
17		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	\$ 19.654,56
18		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	\$ 4.690,96
19		-\$ 14.963,60	-\$ 14.963,60	-\$ 10.272,64
20	\$ 31.216,37	-\$ 14.963,60	\$ 16.252,77	\$ 5.980,14
21	\$ 31.216,37	-\$ 3.963,60	\$ 27.252,77	\$ 33.232,91
22	\$ 31.216,37	-\$ 3.963,60	\$ 27.252,77	\$ 60.485,69
23	\$ 31.216,37	-\$ 3.963,60	\$ 27.252,77	\$ 87.738,46
24	\$ 31.216,37	-\$ 3.963,60	\$ 27.252,77	\$ 114.991,23

Anexo 25: Flujo de Dinero para el Método 7

0		-\$ 5.713,60	-\$ 5.713,60	-\$ 5.713,60
1		-\$ 3.963,60	-\$ 3.963,60	-\$ 9.677,20
2		-\$ 16.879,33	-\$ 16.879,33	-\$ 26.556,53
3		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	-\$ 30.961,86
4		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	-\$ 35.367,19
5		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	-\$ 39.772,52
6		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	-\$ 44.177,85
7		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	-\$ 48.583,18
8		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	-\$ 52.988,51
9		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	-\$ 57.393,84
10	\$ 28.665,95	-\$ 4.405,33	\$ 24.260,62	-\$ 33.133,22
11	\$ 28.665,95	-\$ 3.963,60	\$ 24.702,35	-\$ 8.430,88
12	\$ 28.665,95	-\$ 3.963,60	\$ 24.702,35	\$ 16.271,47
13	\$ 28.665,95	-\$ 3.963,60	\$ 24.702,35	\$ 40.973,81
14	\$ 28.665,95	-\$ 16.879,33	\$ 11.786,62	\$ 52.760,43
15	\$ 28.665,95	-\$ 4.405,33	\$ 24.260,62	\$ 77.021,04
16	\$ 28.665,95	-\$ 4.405,33	\$ 24.260,62	\$ 101.281,66
17	\$ 28.665,95	-\$ 4.405,33	\$ 24.260,62	\$ 125.542,27
18	\$ 28.665,95	-\$ 4.405,33	\$ 24.260,62	\$ 149.802,89
19		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	\$ 145.397,56
20		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	\$ 140.992,23
21		-\$ 4.405,33	-\$ 4.405,33	\$ 136.586,90
22	\$ 28.665,95	-\$ 4.405,33	\$ 24.260,62	\$ 160.847,51
23	\$ 28.665,95	-\$ 3.963,60	\$ 24.702,35	\$ 185.549,86
24	\$ 28.665,95	-\$ 3.963,60	\$ 24.702,35	\$ 210.252,20

Anexo 26: Política de Muestreo para Diagrama de Control

Bancales (48 Bandejas)																																																																																																																											
Numeración																																																																																																																											
1	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Bancal</th> <th colspan="3">Muestras Aleatorias</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>6</td><td>32</td><td>43</td></tr> <tr><td>2</td><td>4</td><td>22</td><td>48</td></tr> <tr><td>3</td><td>15</td><td>30</td><td>42</td></tr> <tr><td>4</td><td>8</td><td>28</td><td>33</td></tr> <tr><td>5</td><td>12</td><td>27</td><td>40</td></tr> <tr><td>6</td><td>12</td><td>17</td><td>38</td></tr> <tr><td>7</td><td>1</td><td>22</td><td>45</td></tr> <tr><td>8</td><td>6</td><td>18</td><td>44</td></tr> <tr><td>9</td><td>5</td><td>19</td><td>46</td></tr> <tr><td>10</td><td>9</td><td>19</td><td>48</td></tr> <tr><td>11</td><td>14</td><td>21</td><td>40</td></tr> <tr><td>12</td><td>15</td><td>27</td><td>33</td></tr> <tr><td>13</td><td>16</td><td>18</td><td>45</td></tr> <tr><td>14</td><td>14</td><td>27</td><td>38</td></tr> <tr><td>15</td><td>3</td><td>29</td><td>40</td></tr> <tr><td>16</td><td>11</td><td>32</td><td>37</td></tr> <tr><td>17</td><td>10</td><td>26</td><td>41</td></tr> <tr><td>18</td><td>13</td><td>26</td><td>42</td></tr> <tr><td>19</td><td>10</td><td>26</td><td>48</td></tr> <tr><td>20</td><td>14</td><td>24</td><td>42</td></tr> <tr><td>21</td><td>3</td><td>26</td><td>44</td></tr> <tr><td>22</td><td>6</td><td>21</td><td>35</td></tr> <tr><td>23</td><td>16</td><td>32</td><td>46</td></tr> <tr><td>24</td><td>9</td><td>23</td><td>40</td></tr> <tr><td>25</td><td>6</td><td>29</td><td>35</td></tr> <tr><td>26</td><td>14</td><td>26</td><td>35</td></tr> <tr><td>27</td><td>8</td><td>25</td><td>36</td></tr> <tr><td>28</td><td>4</td><td>23</td><td>42</td></tr> </tbody> </table>	Bancal	Muestras Aleatorias			1	2	3	1	6	32	43	2	4	22	48	3	15	30	42	4	8	28	33	5	12	27	40	6	12	17	38	7	1	22	45	8	6	18	44	9	5	19	46	10	9	19	48	11	14	21	40	12	15	27	33	13	16	18	45	14	14	27	38	15	3	29	40	16	11	32	37	17	10	26	41	18	13	26	42	19	10	26	48	20	14	24	42	21	3	26	44	22	6	21	35	23	16	32	46	24	9	23	40	25	6	29	35	26	14	26	35	27	8	25	36	28	4	23	42		
Bancal	Muestras Aleatorias																																																																																																																										
	1		2	3																																																																																																																							
1	6		32	43																																																																																																																							
2	4		22	48																																																																																																																							
3	15		30	42																																																																																																																							
4	8		28	33																																																																																																																							
5	12		27	40																																																																																																																							
6	12		17	38																																																																																																																							
7	1		22	45																																																																																																																							
8	6		18	44																																																																																																																							
9	5		19	46																																																																																																																							
10	9		19	48																																																																																																																							
11	14		21	40																																																																																																																							
12	15		27	33																																																																																																																							
13	16		18	45																																																																																																																							
14	14		27	38																																																																																																																							
15	3		29	40																																																																																																																							
16	11		32	37																																																																																																																							
17	10		26	41																																																																																																																							
18	13		26	42																																																																																																																							
19	10		26	48																																																																																																																							
20	14		24	42																																																																																																																							
21	3		26	44																																																																																																																							
22	6		21	35																																																																																																																							
23	16		32	46																																																																																																																							
24	9		23	40																																																																																																																							
25	6		29	35																																																																																																																							
26	14	26	35																																																																																																																								
27	8	25	36																																																																																																																								
28	4	23	42																																																																																																																								
3	4																																																																																																																										
5	6																																																																																																																										
7	8																																																																																																																										
9	10																																																																																																																										
11	12																																																																																																																										
13	14																																																																																																																										
15	16																																																																																																																										
17	18																																																																																																																										
19	20																																																																																																																										
21	22																																																																																																																										
23	24																																																																																																																										
25	26																																																																																																																										
27	28																																																																																																																										
29	30																																																																																																																										
31	32																																																																																																																										
33	34																																																																																																																										
35	36																																																																																																																										
37	38																																																																																																																										
39	40																																																																																																																										
41	42																																																																																																																										
43	44																																																																																																																										
45	46																																																																																																																										
47	48																																																																																																																										

Bancales (60 Bandejas)																																																																																																																											
Numeración																																																																																																																											
1	2	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Bancal</th> <th colspan="3">Muestras Aleatorias</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>1</td><td>1</td><td>37</td><td>53</td></tr> <tr><td>2</td><td>13</td><td>33</td><td>51</td></tr> <tr><td>3</td><td>6</td><td>37</td><td>60</td></tr> <tr><td>4</td><td>20</td><td>23</td><td>53</td></tr> <tr><td>5</td><td>17</td><td>35</td><td>47</td></tr> <tr><td>6</td><td>7</td><td>32</td><td>56</td></tr> <tr><td>7</td><td>20</td><td>30</td><td>54</td></tr> <tr><td>8</td><td>11</td><td>30</td><td>42</td></tr> <tr><td>9</td><td>7</td><td>22</td><td>60</td></tr> <tr><td>10</td><td>13</td><td>34</td><td>47</td></tr> <tr><td>11</td><td>1</td><td>34</td><td>52</td></tr> <tr><td>12</td><td>17</td><td>28</td><td>48</td></tr> <tr><td>13</td><td>5</td><td>22</td><td>41</td></tr> <tr><td>14</td><td>7</td><td>29</td><td>52</td></tr> <tr><td>15</td><td>2</td><td>21</td><td>60</td></tr> <tr><td>16</td><td>18</td><td>33</td><td>47</td></tr> <tr><td>17</td><td>20</td><td>30</td><td>53</td></tr> <tr><td>18</td><td>9</td><td>38</td><td>51</td></tr> <tr><td>19</td><td>6</td><td>24</td><td>47</td></tr> <tr><td>20</td><td>12</td><td>37</td><td>48</td></tr> <tr><td>21</td><td>9</td><td>30</td><td>59</td></tr> <tr><td>22</td><td>19</td><td>24</td><td>55</td></tr> <tr><td>23</td><td>1</td><td>26</td><td>52</td></tr> <tr><td>24</td><td>10</td><td>21</td><td>43</td></tr> <tr><td>25</td><td>8</td><td>25</td><td>55</td></tr> <tr><td>26</td><td>14</td><td>33</td><td>49</td></tr> <tr><td>27</td><td>7</td><td>25</td><td>45</td></tr> <tr><td>28</td><td>11</td><td>23</td><td>55</td></tr> </tbody> </table>	Bancal	Muestras Aleatorias			1	2	3	1	1	37	53	2	13	33	51	3	6	37	60	4	20	23	53	5	17	35	47	6	7	32	56	7	20	30	54	8	11	30	42	9	7	22	60	10	13	34	47	11	1	34	52	12	17	28	48	13	5	22	41	14	7	29	52	15	2	21	60	16	18	33	47	17	20	30	53	18	9	38	51	19	6	24	47	20	12	37	48	21	9	30	59	22	19	24	55	23	1	26	52	24	10	21	43	25	8	25	55	26	14	33	49	27	7	25	45	28	11	23	55		
Bancal	Muestras Aleatorias																																																																																																																										
	1		2	3																																																																																																																							
1	1		37	53																																																																																																																							
2	13		33	51																																																																																																																							
3	6		37	60																																																																																																																							
4	20		23	53																																																																																																																							
5	17		35	47																																																																																																																							
6	7		32	56																																																																																																																							
7	20		30	54																																																																																																																							
8	11		30	42																																																																																																																							
9	7		22	60																																																																																																																							
10	13		34	47																																																																																																																							
11	1		34	52																																																																																																																							
12	17		28	48																																																																																																																							
13	5		22	41																																																																																																																							
14	7		29	52																																																																																																																							
15	2		21	60																																																																																																																							
16	18		33	47																																																																																																																							
17	20		30	53																																																																																																																							
18	9		38	51																																																																																																																							
19	6		24	47																																																																																																																							
20	12		37	48																																																																																																																							
21	9		30	59																																																																																																																							
22	19		24	55																																																																																																																							
23	1		26	52																																																																																																																							
24	10		21	43																																																																																																																							
25	8		25	55																																																																																																																							
26	14	33	49																																																																																																																								
27	7	25	45																																																																																																																								
28	11	23	55																																																																																																																								
3	4																																																																																																																										
5	6																																																																																																																										
7	8																																																																																																																										
9	10																																																																																																																										
11	12																																																																																																																										
13	14																																																																																																																										
15	16																																																																																																																										
17	18																																																																																																																										
19	20																																																																																																																										
21	22																																																																																																																										
23	24																																																																																																																										
25	26																																																																																																																										
27	28																																																																																																																										
29	30																																																																																																																										
31	32																																																																																																																										
33	34																																																																																																																										
35	36																																																																																																																										
37	38																																																																																																																										
39	40																																																																																																																										
41	42																																																																																																																										
43	44																																																																																																																										
45	46																																																																																																																										
47	48																																																																																																																										
49	50																																																																																																																										
51	52																																																																																																																										
53	54																																																																																																																										
55	56																																																																																																																										
57	58																																																																																																																										
59	60																																																																																																																										

Anexo 27: Números Aleatorios para Recolección de Otras Muestras

**Números Aleatorios Para Muestras en
Bancal de 48 Bandejas**

Bancal	M. Aleatorias			Bancal	M. Aleatorias		
	1	2	3		1	2	3
29	1	18	35	69	2	29	36
30	13	30	37	70	7	17	37
31	14	26	42	71	16	27	43
32	4	23	47	72	3	22	44
33	8	23	41	73	8	27	41
34	12	31	36	74	7	17	44
35	15	21	37	75	15	17	48
36	10	30	37	76	6	25	39
37	15	22	39	77	16	23	44
38	6	23	48	78	1	20	47
39	14	20	41	79	6	28	48
40	11	20	48	80	10	29	38
41	11	30	39	81	16	20	42
42	11	31	35	82	13	22	33
43	10	18	48	83	3	31	37
44	13	20	45	84	13	21	48
45	6	24	44	85	4	18	34
46	5	26	39	86	10	29	35
47	7	26	47	87	14	23	41
48	15	31	41	88	14	24	42
49	4	28	47	89	11	25	41
50	2	24	48	90	12	23	38
51	8	25	48	91	2	28	45
52	9	19	48	92	15	21	41
53	8	27	43	93	13	22	40
54	7	24	41	94	16	19	35
55	6	31	47	95	5	20	44
56	1	21	33	96	14	25	45
57	3	30	43	97	15	30	35
58	10	29	46	98	16	29	43
59	7	22	39	99	1	32	34
60	16	22	34	100	13	24	44
61	15	27	45	101	6	21	47
62	7	22	36	102	12	18	33
63	3	25	35	103	10	29	40
64	14	21	38	104	7	26	45
65	4	24	40	105	13	22	38
66	6	27	35	106	1	29	33
67	12	18	42	107	15	26	33
68	1	25	43	108	12	24	45

**Números Aleatorios Para Muestras en
Bancal de 60 Bandejas**

Bancal	M. Aleatorias			Bancal	M. Aleatorias		
	1	2	3		1	2	3
29	18	36	50	69	3	30	49
30	15	37	46	70	16	30	41
31	1	35	43	71	16	38	54
32	19	36	49	72	6	34	44
33	19	29	56	73	1	37	45
34	13	25	46	74	9	35	52
35	7	31	55	75	19	30	59
36	8	22	45	76	8	33	41
37	8	33	53	77	18	31	57
38	7	23	44	78	12	31	53
39	5	30	56	79	7	40	52
40	13	22	60	80	12	36	51
41	2	27	41	81	12	36	47
42	13	25	49	82	9	25	57
43	11	22	47	83	19	33	55
44	7	26	60	84	20	26	44
45	6	32	44	85	7	21	55
46	1	22	55	86	15	39	59
47	1	31	58	87	12	28	58
48	17	21	56	88	12	31	43
49	13	40	51	89	7	23	52
50	15	37	55	90	18	22	43
51	15	30	50	91	1	39	48
52	16	23	55	92	19	31	60
53	13	39	57	93	2	32	60
54	14	26	47	94	4	29	48
55	12	23	58	95	10	30	49
56	16	31	58	96	3	23	57
57	10	21	50	97	14	21	43
58	9	31	59	98	20	40	42
59	9	32	45	99	16	38	43
60	5	28	51	100	12	35	58
61	3	37	47	101	19	28	55
62	1	37	52	102	12	35	59
63	10	30	52	103	9	25	52
64	9	40	43	104	12	24	54
65	9	31	45	105	16	31	56
66	13	30	49	106	1	29	58
67	8	35	42	107	2	26	59
68	2	29	41	108	6	27	51

Anexo 28: Datos Recogidos para la Construcción del Diagrama de Control.

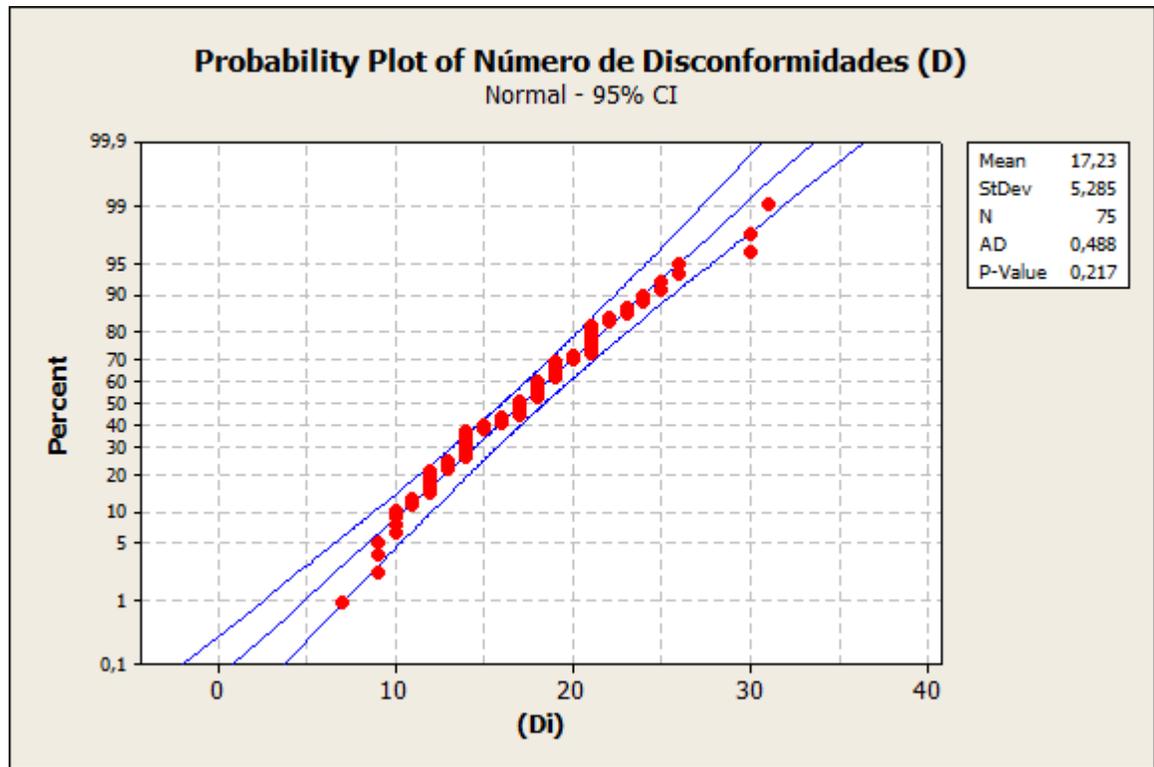
Los siguientes datos que se presentan a continuación fueron recogidos durante los meses de febrero y mayo (2013), y se utilizaron para la construcción de los diagramas de control de fracción disconforme (Diagrama p), y de número de disconformidades (Diagrama np):

Muestra		Plantas no emergidas	Fracción disconforme
Bancal	(i)	(Di)	(\hat{p}_i)
1	1	14	0,15
	2	16	0,17
	3	17	0,18
2	4	23	0,24
	5	14	0,15
	6	23	0,24
3	7	15	0,16
	8	21	0,22
	9	18	0,19
4	10	21	0,22
	11	12	0,13
	12	12	0,13
5	13	24	0,25
	14	13	0,14
	15	15	0,16
6	16	13	0,14
	17	26	0,27
	18	30	0,31
7	19	31	0,32
	20	17	0,18
	21	19	0,20
8	22	17	0,18
	23	21	0,22
	24	10	0,10
9	25	14	0,15
	26	18	0,19
	27	16	0,17

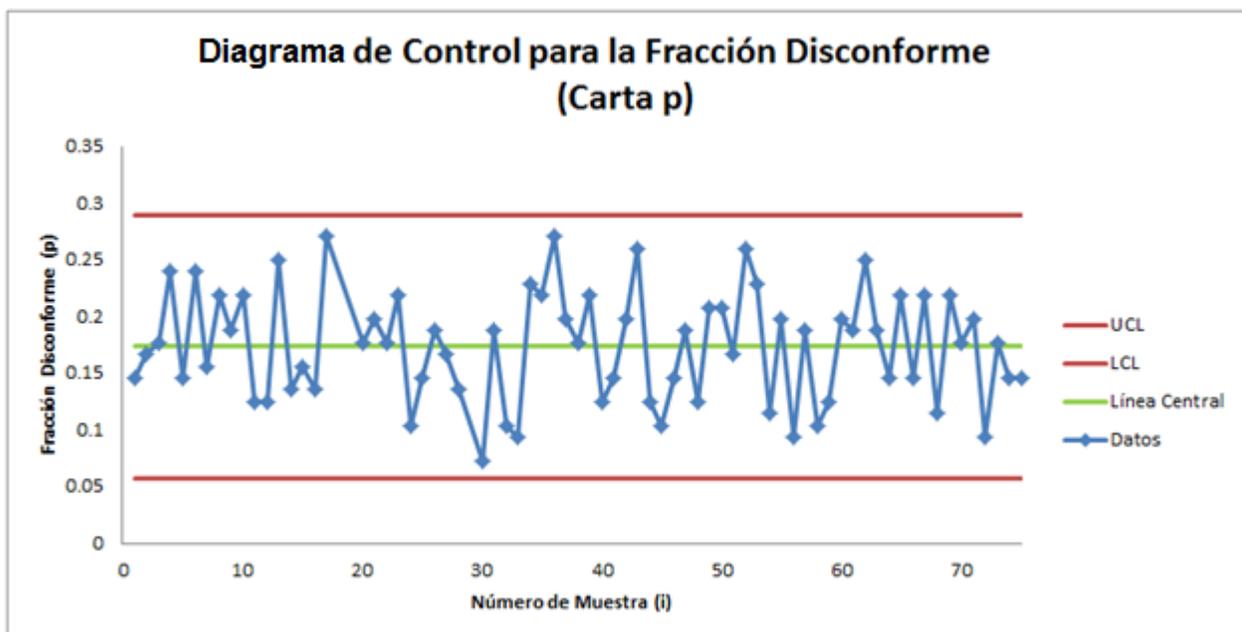
Muestra		Plantas no emergidas	Fracción disconform
Bancal	(i)	(Di)	(\hat{p}_i)
10	28	13	0,14
	29	30	0,31
	30	7	0,07
11	31	18	0,19
	32	10	0,10
	33	9	0,09
12	34	22	0,23
	35	21	0,22
	36	26	0,27
13	37	19	0,20
	38	17	0,18
	39	21	0,22
14	40	12	0,13
	41	14	0,15
	42	19	0,20
15	43	25	0,26
	44	12	0,13
	45	10	0,10
16	46	14	0,15
	47	18	0,19
	48	12	0,13
17	49	20	0,21
	50	20	0,21
	51	16	0,17
18	52	25	0,26
	53	22	0,23
	54	11	0,11

Muestra		Plantas no emergidas	Fracción disconform
Bancal	(i)	(Di)	(\hat{p}_i)
19	55	19	0,20
	56	9	0,09
	57	18	0,19
20	58	10	0,10
	59	12	0,13
	60	19	0,20
21	61	18	0,19
	62	24	0,25
	63	18	0,19
22	64	14	0,15
	65	21	0,22
	66	14	0,15
23	67	21	0,22
	68	11	0,11
	69	21	0,22
24	70	17	0,18
	71	19	0,20
	72	9	0,09
25	73	17	0,18
	74	14	0,15
	75	14	0,15
			$\bar{p} = 0,1794$
			$n\bar{p} = 17,23$

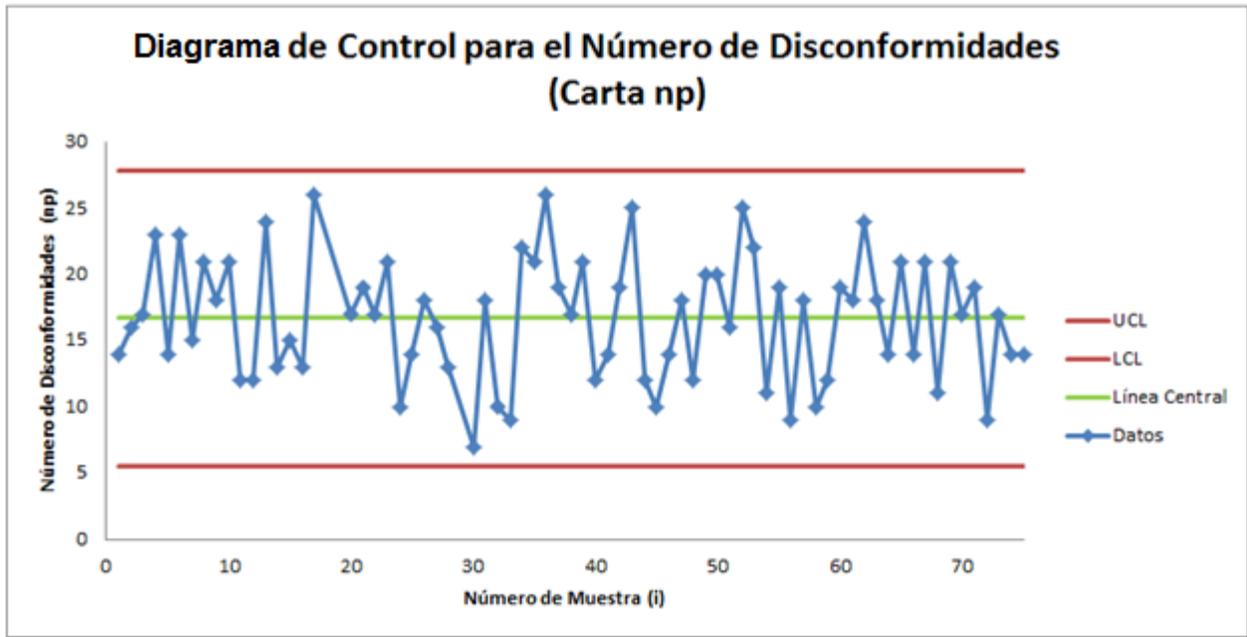
Anexo 29: Prueba de Normalidad de los Datos Recogidos para el Control Estadístico



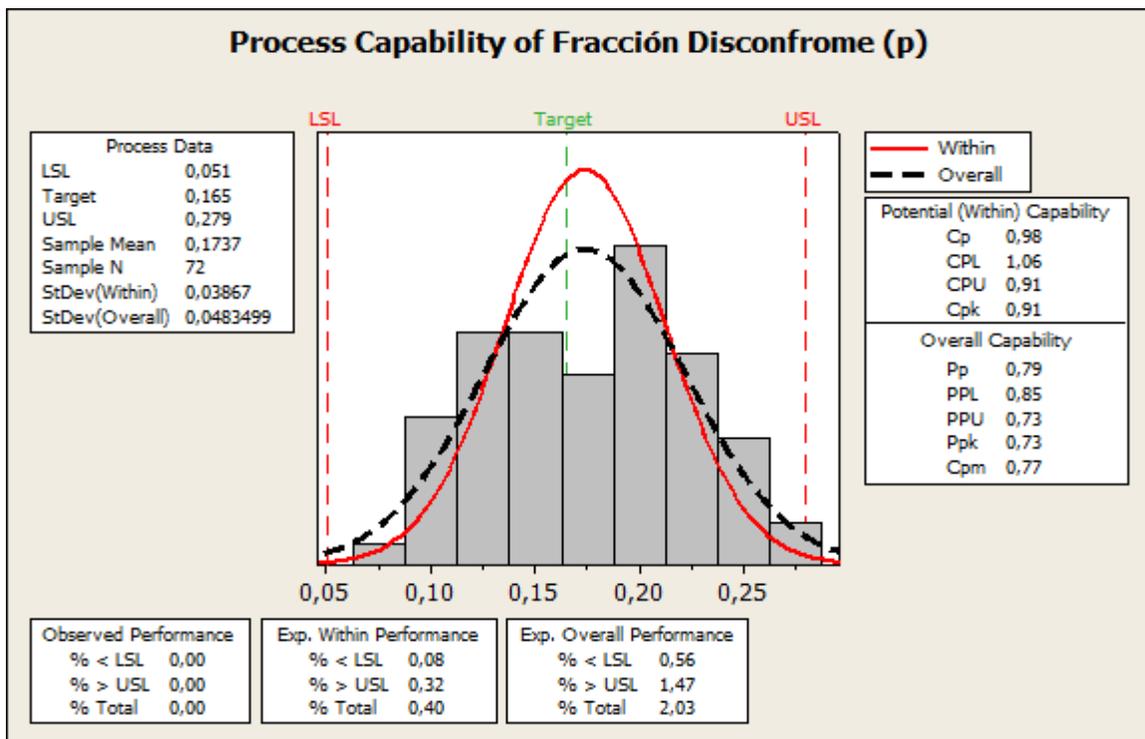
Anexo 30: Diagrama p Con Límites de Control Finales



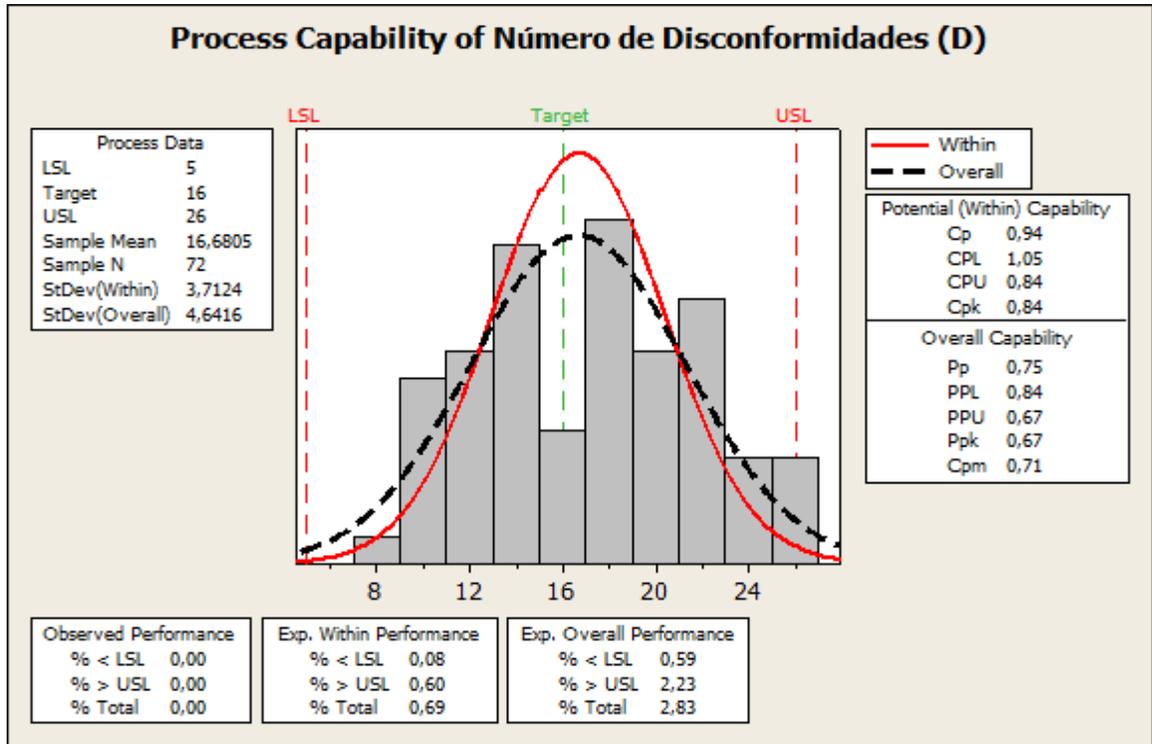
Anexo 31: Diagrama np Con Límites de Control Finales



Anexo 32: Análisis de Capacidad para el Diagrama p



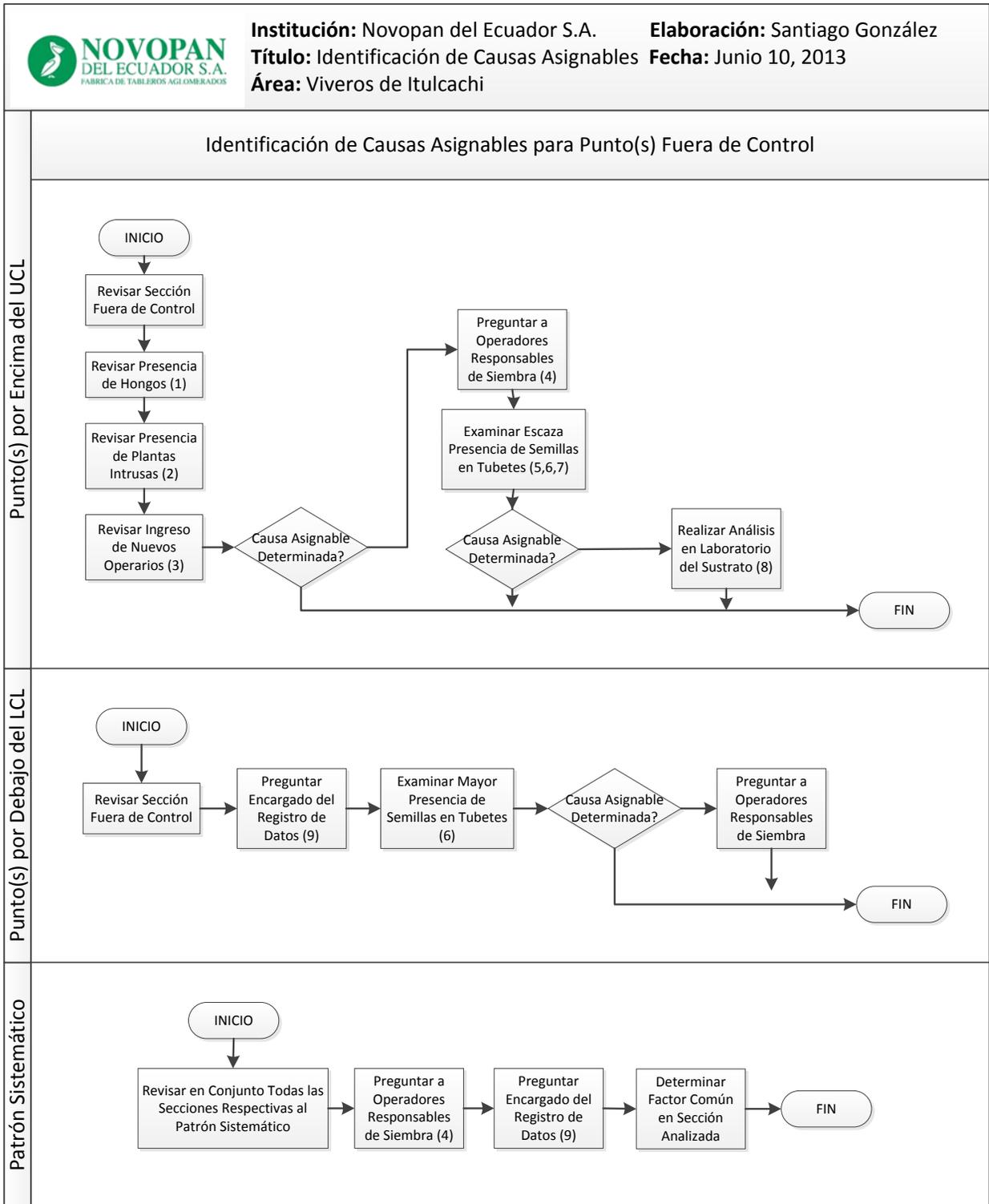
Anexo 33: Análisis de Capacidad para el Diagrama np



Anexo 34: Datos y Cálculos para la Construcción de la Curva OC

np	p	P{D≤28 p}	P{D≤6 p}	β= P{D≤28 p} - P{D≤6 p}	ARL1
2	0,02	1,00	0,99	0,01	1
4	0,04	1,00	0,78	0,22	1
6	0,06	1,00	0,42	0,58	2
8	0,08	1,00	0,18	0,82	5
10	0,10	1,00	0,07	0,93	15
12	0,13	1,00	0,02	0,98	43
14	0,15	1,00	0,01	0,99	138
16	0,17	1,00	0,00	1,00	371
18	0,19	0,99	0,00	0,99	176
20	0,21	0,98	0,00	0,98	40
22	0,23	0,92	0,00	0,92	13
24	0,25	0,82	0,00	0,82	5
26	0,27	0,66	0,00	0,66	3
28	0,29	0,48	0,00	0,48	2
30	0,31	0,32	0,00	0,32	1
35	0,36	0,06	0,00	0,06	1
40	0,42	0,01	0,00	0,01	1
45	0,47	0,00	0,00	0,00	1
50	0,52	0,00	0,00	0,00	1
55	0,57	0,00	0,00	0,00	1

Anexo 35: Identificación de Causas Asignables para Punto(s) Fuera de Control



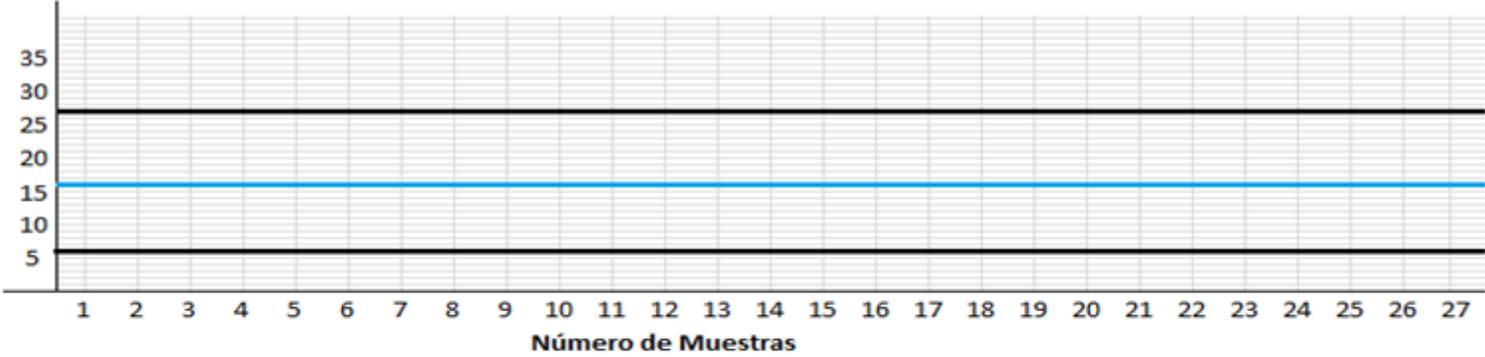
Anexo 36: Plan de Acción para Puntos Fuera de Control OCAP

OCAP Carta de Control np			
Sintoma	Causa Potencial	Resultante	Soluciones/Acciones Correctivas
Puntos por Encima del Límite Superior de Control	1. Proporción de riego inadecuado	Generación excesiva de hongos en el sustrato	Retroalimentación a encargado del riego, y revisión de que el sistema de riego se encuentre funcionando adecuadamente.
	2. Mala esterilización del Sustrato	Aparición de microorganismos intrusos en el sustrato, y perjuicio para el desarrollo de las plantas.	Revisión del procesos de esterilización del sustrato, análisis químico del mismo.
	3. Nuevo personal Operativo	Bajo desempeño en las actividades de producción de las plantas	Corrección y retroalimentación a los operarios en el área de producción de plantas, e informe de los procedimientos adecuados para llevarse a cabo en esta área.
	4. Imprudencia/negligencia de operarios	Mal desempeño en las actividades de producción de las plantas	Corrección y retroalimentación a los operarios en el área de producción de plantas, e informe de los procedimientos adecuados para llevarse a cabo en esta área.
	5. Mal aprovisionamiento de semillas	Semillas con bajos porcentajes de germinación	Retroalimentación a proveedor de semillas certificadas, e información de que las semillas no están cumpliendo con las garantías pertinentes.
	6. No colocación adecuada de una semilla por tubete	Tubetes sin semillas	Corrección y retroalimentación a los operarios en el área de producción de plantas, e informe de los procedimientos adecuados para llevarse a cabo en esta área.
	7. Ingreso de pajaros al Vivero	Semillas retiradas por pajaros	Revisión de la estructura de los Viveros y resguardo con mallas de posibles entradas para pajaros.
	8. Mal aprovisionamiento de sustrato	Aparición de microorganismos intrusos en el sustrato, y generación del efecto "Damping"	Retroalimentación a proveedor de sustrato, e información de que el sustrato comprado tenía una composición indebida.
Puntos por Debajo del Límite Inferior de Control	9. Imprudencia Operador que registra datos	Registro inadecuado de la información requerida	Corrección y retroalimentación al operador que registró los datos en la carta de control, e informe de la política adecuada de muestreo.
	6. No colocación adecuada de una semilla por tubete	Tubetes con más de una semilla	Corrección y retroalimentación a los operarios en el área de producción de plantas, e informe de los procedimientos adecuados para llevarse a cabo en esta área.
Patrón Sistemático entre Varias Muestras	4. Imprudencia/negligencia de operarios	Mal desempeño en las actividades de producción de las plantas	Corrección y retroalimentación a los operarios en el área de producción de plantas, e informe de los procedimientos adecuados para llevarse a cabo en esta área.
	9. Imprudencia Operador que registra datos	Registro inadecuado de la información requerida	Corrección y retroalimentación al operador que registró los datos en la carta de control, e informe de la política adecuada de muestreo.

Anexo 37: Propuesta de Formato del Diagrama de Control para la Producción (Diagrama de Control np)

	Institución: Novopan del Ecuador S. A. Sección: Dpto de Plantaciones Forestales Área: Viveros de Itulcachi Macroproceso: Producción de Plantas	Elaboración: Santiago González Fecha: 10 de Junio, 2013																										
	Diagrama de Control para no conformidades en Pinus Radiata Indicador: Porcentaje de Emergencia Luego de 21 Días		Fecha de Inicio: Fecha de Fin:																									
	Bancal #																											
	Muestra #	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Disconformes																												
	Max.	Prom.	Min.	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="text-align: center;">Límites de Control Utilizados</td> <td style="text-align: center;">UCL:</td> <td style="text-align: center;">27,818 ≈ 27</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Central:</td> <td style="text-align: center;">16,681 ≈ 16</td> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">LCL:</td> <td style="text-align: center;">5,543 ≈ 6</td> </tr> </table>		Límites de Control Utilizados	UCL:	27,818 ≈ 27		Central:	16,681 ≈ 16		LCL:	5,543 ≈ 6														
Límites de Control Utilizados	UCL:	27,818 ≈ 27																										
	Central:	16,681 ≈ 16																										
	LCL:	5,543 ≈ 6																										
Disconformes																												
% Disconformes																												

Número de Disconformes



Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

Nombre y Firma Operador

.....

Nombre y Firma Controlador